UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA AGRICOLA

" Prospección Geotécnica en Ejes de Presa Mediante Sondajes Diamantinos Aplicación : Presa Lindachara "

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERO AGRICOLA

JAVIER ANTONIO GOICOCHEA RIOS

PROMOCION 1974

LIMA — PERU

1984

TABLA DE CONTENIDO

"PROSPECCION GEOTECNICA EN EJES DE PRESA MEDIANTE SONDAJES DIAMANTINOS. APLICACION: PRESA LINDACHARA"

	Página
TITULO	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
TABLA DE CONTENIDO	iv
RESUMEN	ix
LISTA DE CUADROS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE SIMBOLOS	xiv
CAPITULO I	
1. INTRODUCCION	2
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos	4
1.3 Importancia del Estudio	5
1.4 Presentación de la zona estudiada	6
CAPITULO II	
2. CRITERIOS PARA LA UBICACION DE LOS SONDAJES DIAMANTINOS EN EJES DE PRESA	9
2.1 Generalidades	9
2.2 Reconocimiento Geológico Superficial	11
2.3 Prospección Geofísica	12
2.3.1 Prospección Geoeléctrica	13
2.3.2 Prospección Sísmica	14
CAPITULO III	
3. RECOPILACION DE LA INFORMACION GEOLOGICA Y GEOELECTRICA EMPLEADA EN LA UBICACION DE LOS SONDAJES DIAMANTINOS EN EL SITIO DE PRESA LINDACHARA	20
3.1 Generalidades	20
3.2 Geología Superficial del sitio de Presa Lindachara	21
3.2.1 Geomorfología	21
3.2.2 Estratigrafía encontrada	22

Página

3.2.2.1 Formaciones sedimentarias cretácicas 22
3.2.2.2 Depósitos de cuaternarios 24

3.2.3 Geología Estructural 25

3.3 Prospección Geoeléctrica 27
3.4 Ubicación de los Sondajes Diamantinos 33

3.4.1 Sondajes en el Eje I 33
3.4.2 Sondajes en el Eje II 34

CAPITULO IV

4. PERFORACIONES DIAMANTINAS 37

4.1 Generalidades 37
4.2 Esquema General 38
4.3 Tamaños Standard de Herramientas de Perforación 38
4.4 Breve Descripción del Equipo Empleado en las Perforaciones Diamantinas 43

4.4.1 Máquina de perforación rotativa y bombas 43

4.4.1.1 Máquina de perforación rotativa 43
4.4.1.2 Bombas 45

4.4.2 Castilletes 46
4.4.3 El Varillaje 47
4.4.4 Tubería de revestimiento (Casing) 48
4.4.5 Cabezal de inyección 50
4.4.6 Coronas diamantinas 51

4.4.6.1 Diamantes utilizados 52
4.4.6.2 Selección de coronas diamantinas 53
4.4.6.3 Escariadores (Reaming Shell) 57

4.4.7 Tubos portatestigos o muestreadores (Core-Barrells) 59

4.4.7.1 Portatestigos de tubo simple y doble tubo giratorio 59
4.4.7.2 Portatestigos de doble tubo giratorio Wire Line 60

4.5 Testificación contínua de rocas 62

4.5.1 Indice de calidad de las rocas (R.Q.D.) 64
4.5.2 Porcentaje de recuperación 65
4.5.3 Almacenamiento de los testigos 65

4.6 Registros de los Sondajes Diamantinos 67

4.6.1 Partes Diarios de Perforación 67
4.6.2 Registros del Sondéo 67

CAPITULO V

Página

5. PERFORACIONES DIAMANTINAS EN EL SITIO DE PRESA LINDACHARA 79

5.1 Generalidades 79
5.2 Equipo empleado 80
5.3 Instalación 81
5.4 Testificación contínua de rocas 81
5.5 Resultados de la testificación contínua en los Sondajes Diamantinos 82

5.5.1 Sondajes Diamantinos en el Eje I 82

5.5.1.1 Sondaje L - 1 82
5.5.1.2 Sondaje L - 2 85

5.5.2 Sondajes Diamantinos en el Eje II 85

5.5.2.1 Sondaje L' - 1 86
5.5.2.2 Sondaje L' - 2 86
5.5.2.3 Sondaje L' - 3 87

CAPITULO VI

6. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN LOS SONDAJES DIAMANTINOS 92

6.1 Generalidades 92
6.2 Consideraciones teóricas 95
6.3 Ensayos de permeabilidad a presión 96

6.3.1 Agua empleada en los ensayos 97
6.3.2 Descripción del equipo requerido 97

6.3.2.1 Obturadores 97
6.3.2.2 Dispositivo de distribución de inyección 99
6.3.2.3 Tanques de almacenamiento de agua 101
6.3.2.4 Sonda eléctrica 101
6.3.2.5 Disposición del equipo 101

6.3.3 Longitud del intervalo de prueba 105
6.3.4 Programación del ensayo 107

6.3.4.1 Carga hidráulica (H) 108
6.3.4.2 Ciclo de presiones (Método Looping) 108

6.3.5 Procedimiento del ensayo 109
6.3.6 Gráficas del ensayo 110

6.3.6.1 Gráficos de dependencia del gasto y de la presión en función de tiempo 110
6.3.6.2 Curvas características de los ensayos a presión 110

Página

6.3.7 Cálculo de los parámetros hidrogeológicos 114

6.3.7.1 Coeficiente de permeabilidad 114
6.3.7.2 Absorción específica 118
6.3.7.3 Lugeón 122

6.4 Ensayos de permeabilidad por gravedad 123

6.4.1 Pruebas con tubería de revestimiento hincados al fondo del sondaje 124

6.4.1.1 Procedimiento del ensayo 125
6.4.1.2 Gráfica del ensayo 125
6.4.1.3 Cálculo del coeficiente de permeabilidad 125

6.4.2 Pruebas con el intervalo delimitado por la tubería de revestimiento y el fondo del sondaje 126

6.4.2.1 Procedimiento del ensayo 129
6.4.2.2 Gráficas del ensayo 130
6.4.2.3 Cálculo de los parámetros hidrogeológicos 130

6.4.3 Pruebas por gravedad con uso de obturadores 132
6.4.4 Pruebas por gravedad en sondajes sin revestimiento (Método de V.M.Nasbierg) 132

6.4.4.1 Procedimiento del ensayo 133
6.4.4.2 Cálculo del coeficiente de permeabilidad 133

6.5 Registros de los ensayos y presentación de resultados 134

CAPITULO VII

7. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN EL SITIO DE PRESA LINDACHARA 139

7.1 Generalidades 139
7.2 Equipo y material empleado 140
7.3 Agua empleada en los ensayos 140
7.4 Metodología empleada 141

7.4.1 Ensayos de presión 141
7.4.2 Ensayos por gravedad 142

7.5 Resultados de los ensayos de permeabilidad realizados en los Ejes de Presa Lindachara 148

7.5.1 Resultados de los ensayos en los sondajes de la Variante de Eje de Presa I 148
7.5.2 Resultados de los ensayos en los sondajes de la Variante de Eje de Presa II 149

CAPITULO VIII

Página

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 162

8.1 Conclusiones 162
8.2 Recomendaciones 165

BIBLIOGRAFIA 167

ANEXOS 171

ANEXO I : Tablas de resultados totales de los ensayos de permeabilidad 172

ANEXO II : Registros de los sondeos 178

"PROSPECCION GEOTECNICA EN EJES DE PRESA MEDIANTE SONDAJES DIAMANTINOS. APLICACION: PRESA LINDACHARA"

RESUMEN

El presente estudio tiene por finalidad contar con un documento base inicial, para complementar futuros estudios relacionados con exploraciones geotécnicas en ejes de presa mediante sondajes diamantinos, asímismo de exponer los métodos de investigación geotécnica que han sido utilizados en las alternativas de ejes de la Presa Lindachara del Proyecto Binacional Puyango - Tumbes, ubicado en el Departamento de Tumbes en el Perú y en la Provincia de Loja en el Ecuador.

En el desarrollo del estudio, se exponen los criterios de ubicación de los sondajes diamantinos, mediante el reconocimiento geológico superficial y la prospección geofísica. Se expone el método de perforación rotativa con recuperación continua de testigos con el empleo de coronas diamantinas y los diferentes métodos de ensayos de permeabilidad que se realizan en los sondajes, describiéndose el equipo a utilizarse, el cálculo de los parámetros geotécnicos e hidrogeológicos, proponiéndose asímismo los registros de control y presentación de resultados.

Los sondajes diamantinos realizados en las dos variantes de ejes de Presa Lindachara, han sido programados y ejecutados para obtener información de la profundidad a la que se encuentra la roca sana y fresca, establecer el contacto geológico entre las lutitas y areniscas identificadas en el reconocimiento geológico superficial y determinar las características geotécnicas de la cimentación de la presa; perforándose para ello dos sondajes en el Eje I con una profundidad total de 188.10 m. y en el Eje II tres sondajes con una profundidad total de 265.84 m.

La información litológica obtenida de los sondajes, con los porcentajes de recuperación, indice de calidad de las rocas y ensayos de permeabilidad correlacionados con los perfiles de resistividades establecidos con la prospección geoeléctrica, permitieron establecer los límites superio-

res de la roca fresca y sus condiciones geotécnicas hasta las profundidades alcanzadas, comprobándose que el Eje II presenta condiciones geotécnicas más favorables para la cimentación de la Presa Lindachara, por presentar menores potencias de material superficial sueltos, rocas alteradas y descompuestas y presentando valores menores de permeabilidad en la base.

LISTA DE CUADROS

Nº	TITULO	Página
I-1	Causa de averías catastróficas en presas	10
III-1	Perfiles Geoeléctricos - Eje I	29
III-2	Perfil Geoeléctrico - Eje II	30
IV-1	Nomenclatura de la Diamond Core Drill Manufactures Association D.C.D.M.A.	41
IV-2	Dimensiones Nominales para tuberías de revestimiento y accesorios de la D.C.D.M.A.	42
IV-3	Tamaños standard del varillaje de la D.C.D.M.A.	49
IV-4	Selección de coronas diamantinas	58
IV-5	Relación entre el R.Q.D. y la calidad de la roca	64
IV-6	Relación entre el porcentaje de recuperación y la calidad de la roca	65
V-1	Características principales de los sondajes diamantinos realizados en la Presa Lindachara	90
VI-1	Ventajas y desventajas de los métodos de campo de ensayo de permeabilidad en sondajes	94
VI-2	Valores del coeficiente C1 para diferentes intervalos de prueba y diametros de sondaje diamantino	117
VII-1	Ensayos de permeabilidad realizados en el Sondaje L - 1	143
VII-2	Ensayos de permeabilidad realizados en el Sondaje L - 2	144
VII-3	Ensayos de permeabilidad realizados en el Sondaje L' - 1	145
VII-4	Ensayos de permeabilidad realizados en el Sondaje L' - 2	146
VII-5	Ensayos de permeabilidad realizados en el Sondaje L' - 3	147
VII-6	Resultados de los ensayos de permeabilidad del Sondaje L - 1	151
VII-7	Resultados de los ensayos de permeabilidad del Sondaje L - 2	152
VII-8	Resultados de los ensayos de permeabilidad del Sondaje L' - 1	153
VII-9	Resultados de los ensayos de permeabilidad del Sondaje L' - 2	154
VII-10	Resultados de los ensayos de permeabilidad del Sondaje L' - 3	155

LISTA DE FIGURAS

N°	TITULO	Página
I-1	Ubicación del sitio de Presa Lindachara	7
II-1	Esquema del montaje utilizado para prospección geoeléctrica	17
II-2	Principio de la reflexión y refracción sísmica	18
III-1	Mapa Geológico de la zona de Presa Lindachara	26
III-2	Geoeléctrica en el Eje I de la Presa Lindachara	31
III-3	Geoeléctrica en el Eje II de la Presa Lindachara	32
IV-1	Esquema general del equipamiento de un sondaje diamantino	39
IV-2	Varillaje de perforación y sus acoplamientos	69
IV-3	Grillete de suspención	70
IV-4	Tubería de revestimiento (Casing), acoplamiento y zapata	71
IV-5	Cabezal de inyección	72
IV-6	Coronas diamantinas y escariador	73
IV-7	Portatestigos de tubo simple y doble	74
IV-8	Portatestigos de doble tuvo giratorio y pescador (Overshot Assembly) Wire Line	75
IV-9	Cajas de almacenamiento de testigos	76
Formato IV-1	Parte diario de perforación	77
V-1	Ubicación de los sondajes diamantinos y ejes de Presa en la Alternativa Lindachara	83
VI-1	Flujo en una cavidad cilíndrica cuya altura es igual al espesor de la capa permeable	98
VI-2	Obturadores	102
VI-3	Esquemas del dispositivo de distribución de inyección, tanques de almacenamiento de agua y sonda eléctrica	103
VI-4	Esquema de distribución de equipo en las pruebas de presión	104
VI-5	Utilización de la cementación de pozos en las pruebas de presión	106
VI-6	Esquemas de el cálculo de la carga hidráulica (H) y esquema del gráfico Q, H = f (t)	112
VI-7	Curvas características de los ensayos a presión	113
VI-8	Gráficos para determinar el coeficiente de absorción específica (q)	121

No.	T I T U L O	Página
VI-9	Esquema del tanque medidor de consumo de agua	127
VI-10	Prueba de permeabilidad por gravedad con tubería de revestimiento hincado al fondo del pozo	128
VI-11	Prueba de permeabilidad por gravedad con el intervalo de ensayo delimitado por el fondo del pozo y la tubería de revestimiento.	131
VI-12	Prueba por gravedad con el casing delimitando el intervalo de ensayo, con diferentes niveles dinámicos.	135
VI-13	Pruebas de permeabilidad por gravedad con uso de obturadores y por el método de Nasbierg	136
Formato VI-1	Registro de los ensayos de permeabilidad	137
VII-1	Curvas características: Sondaje L-1	156
VII-2	Curvas características: Sondaje L-2	157
VII-3	Curvas características: Sondaje L'-1	158
VII-4	Curvas características: Sondaje L'-2	159
VII-5	Curvas características: Sondaje L'-3	160

LISTA DE SIMBOLOS

ρ	Resistividad de la roca o tierra
a	Equidistancia entre electrodos
V	Voltaje
I	Intensidad de corriente
Kcf	Formación Condor Flores
Klch	Formación Lindachara
Kbo	Formación Boliches
Kmp	Formación Malpaso
el-d	Depósitos eluvio-deluviales
$aL\text{-}Q_{\frac{2}{IV}}$	Depósitos aluviales de cauce y terrazas de cauce
$aL\text{-}Q_{\frac{1}{IV}}$	Depósitos aluviales de la terraza anegadiza
$el\text{-}Q_{III\text{-}IV}$	Depósitos eluviales
$al\text{-}Q_{III}$	Depósitos aluviales del cuaternario superior
d-pL	Depósitos deluvio proluviales
Rc	Unidades Rocwell de dureza de matriz de coronas
R.Q.D.	Indice de calidad de las rocas (Rock Quality - Designation)
Q	Caudal estabilizado
Qo	Caudal específico
H	Altura de presión
l	Longitud del intervalo ensayado
r	Radio del sondaje
dy/dx	gradiente piezométrica
k	Coeficiente de permeabilidad
q	Absorción específica
Lug.	Lugeón
$1/C_1$	Coeficiente de la cavidad cilíndrica del intervalo de prueba
N.E.	Nivel estático
N.D.	Nivel dinámico
S	Profundidad de Nivel dinámico desde un punto de referencia.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

CAPITULO I

1. INTRODUCCION

Con demasiada frecuencia, todavía en la actualidad se emprenden obras importantes sin que se haya precedido de un reconocimien- y evaluación suficiente y seria de la cimentación. A veces las alteraciones del subsuelo, que no se aprecian superficialmente, traen como consecuencia serias dificultades que provocan siempre un aumento considerable en los costos de construcción que en su defecto ocasiona la ruina y el abandono de la obra.

Para el diseño de obras cíviles de importancia, como el caso de una presa, los proyectistas necesitan conocer la estratigrafía y propiedades de la cimentación, este conocimiento se obtiene a través de la exploración, obtensión de muestras y pruebas de la boratorio.

La exploración en proyectos de cimentaciones se llevan a cabo en tres fases: el reconocimiento superficial del lugar, exploración preliminar y la exploración detallada, incluyendo el muestreo. La exploración detallada directa en nuestro medio mas exacto es mediante perforaciones diamantinas, materia del presente estudio.

La perforación diamantina, consiste en general en efectuar al terreno una roza circular por rotación del elemento cortante (corona diamantina), separando del resto del terreno un núcleo central llamado testigo, extrayéndolo a continuación después de haberlo cortado eventualmente por su base. El sondaje diamanti

no consecuentemente sería la excavación cilíndrica de pequeño diámetro y considerable profundidad.

Los resultados a obtenerse de los sondajes diamantinos en exploraciones geotécnicas basicamente consistirán por lo tanto, en la testificación contínua de testigos, los cuales nos muestran la sucesión ininterrumpida de las formaciones del subsuelo y determinación del grado de permeabilidad del mismo.

Por lo tanto el proyectista podrá realizar ensayos de laboratorio para determinar las características físico-mecánicas de la cimentación, mediante la selección de muestras de la testificación contínua.

1.1 Antecedentes

Para incluir la Presa Lindachara en el análisis de alternativas de la primera fase del Estudio de Factibilidad del Proyecto Binacional Puyango - Tumbes, debía obtenerse información básica a nivel de prefactibilidad, para lo cual se llevaron a cabo investigaciones geológicas-geotécnicas en la zona de presa.

El presente estudio, forma parte de las investigaciones geotécnicas mediante perforaciones diamantinas, realizadas en los ejes de la presa Lindachara, Alternativas I y II, ejecutado por la Asociación Bustamante Williams - MOTLIMA, mediante un sub-contrato con la firma AUDUN OLSEN, Contratista de Perforaciones Diamantinas, en virtud del Contrato realizado entre el Ministerio de Agrícultura por intermedio de la Dirección General de Irrigaciones.

El ejecutor del presente estudio, estuvo comprometido directamente en el control y supervisión de las perforaciones diamantinas, así como del control y ejecución de los ensayos de permeabilidad; los mismos que se realizaron de acuerdo a las especificaciones técnicas correspondientes, elaboradas por el Consorcio Internacional Puyango-Tumbes (Componente Peruana), quien participó además supervisando los trabajos.

Asímismo, el presente trabajo comprende también la revisión y recopilación de información sobre los sondajes diamantinos, complementándose esta con la experiencia de campo y gabinete obtenida con el Proyecto Especial Olmos, con la asesoría y supervisión del Grupo Soviético TECHNOPROMEXPORT.

1.2 Objetivos

El presente estudio tiene los presentes objetivos:

a) Exponer los métodos de investigación geotécnica mediante sondajes diamantinos, que han sido utilizados en las alternativas de ejes de la Presa Lindachara del Proyecto Binacional Puyango-Tumbes.

b) Elaborar un documento de base inicial, para complementar futuros estudios relacionados con exploraciones geotécnicas en ejes de presas por perforaciones diamantinas, mediante:

- Exposición de algunos criterios en lo referente a la ubicación de los sondajes diamantinos.

- Establecimiento de gráficos, registros de control y registros de los resultados obtenidos en las perforaciones y en los ensayos de permeabilidad que se efectúen

en los sondajes diamantinos, para un mejor control de los mismos.

- Descripción de los parámetros geotécnicos obtenidos en la perforación y descripción de los equipos más empleados en nuestro medio en perforaciones diamantinas.

- Descripción de los ensayos de permeabilidad que se realizan en los sondajes diamantinos, descripción del equipo utilizado y cálculos de los parámetros hidrogeológicos.

1.3 Importancia del estudio

La confiabilidad de un estudio geotécnico que se realice depende de los trabajos de exploración, por lo tanto estos deben realizarse en forma cuidadosa, siguiendo métodos y normas adecuadas.

De esto se deduce que las inversiones que se realicen mediante perforaciones diamantinas, tienen un gran significado económico, ya que éstas permiten conocer el sub-suelo donde se van a cimentar las obras cíviles de ingeniería, permitiendo así al proyectista diseñar la cimentación dentro de las normas de seguridad y economía.

La construcción de obras sobre terrenos variados, ha obligado a los ingenieros a determinar a priori las propiedades físico-mecánicas de la cimentación, solo las perforaciones diamantinas permiten llegar económicamente a estos resultados y su técnica se ha desarrollado en este sentido.

La importancia de este estudio, se pone de manifiesto dado que la perforación diamantina en este tipo de investigaciones, no debe reflejarse en lograr velocidades de perforación

record, sino que deben permitir el estudio de las características mecánicas e hidrogeológicas del sub-suelo.

1.4 Presentación de la zona estudiada

La zona estudiada se encuentra ubicada aproximadamente en las coordenadas 3° 54', latitud sur y 80° 08', longitud oeste en el límite internacional Perú-Ecuador (el departamento de Tumbes en el Perú y la provincia de Loja, en el Ecuador), en el río Puyango-Tumbes, aproximadamente un kilómetro aguas abajo de la desembocadura de la quebrada Trapazola (Puesto G.R. Condorflores) al río Puyango-Tumbes y unos 200 m. aguas arriba de la unión del río Puyango-Tumbes con la quebrada Lindachara, entre alturas que varían de 250 a 400 m.s.n.m. (ver Figura I-1).

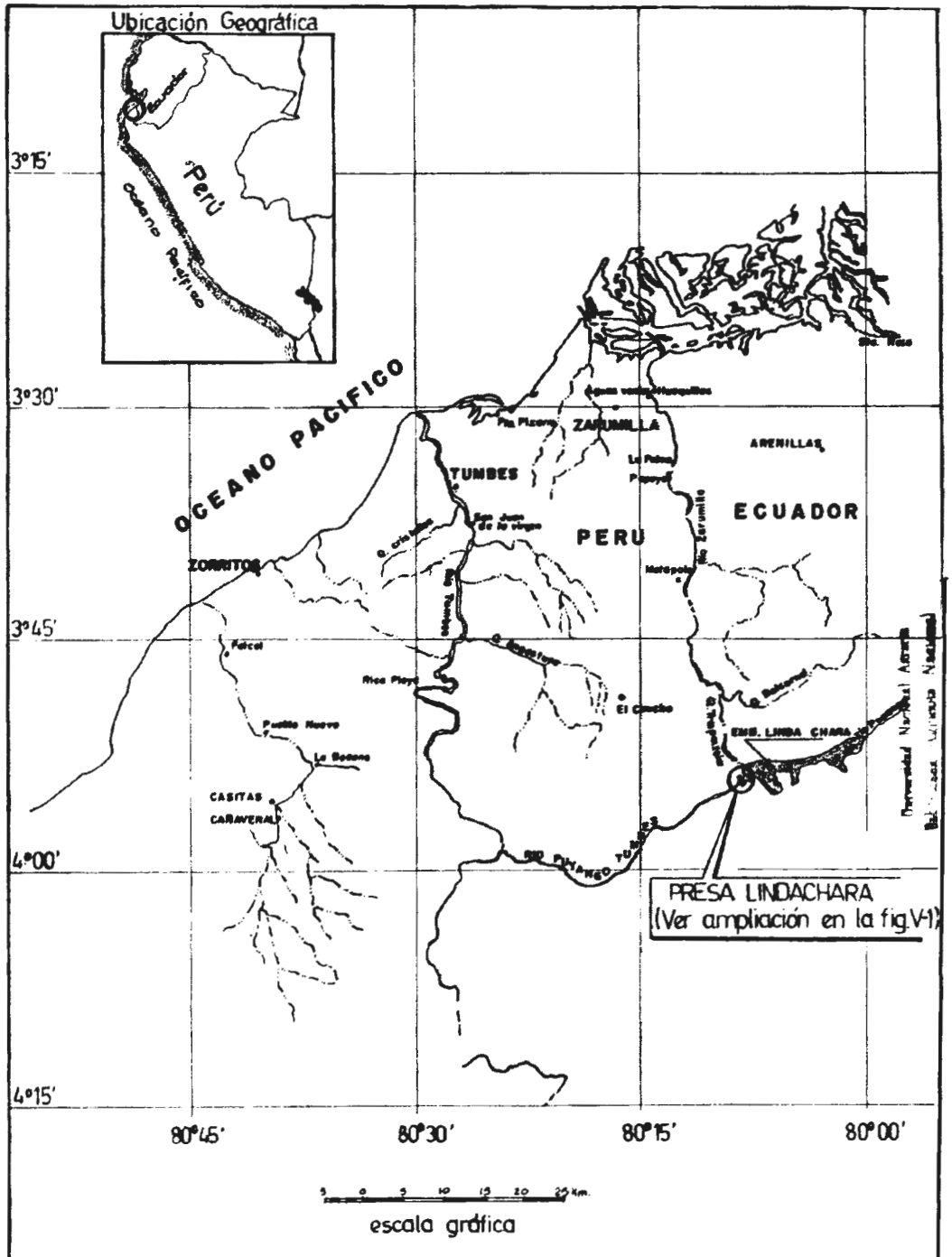


FIG. I-1.- UBICACION DEL SITIO DE PRESA LINDACHARA.

CAPITULO II

2. Criterios Para la Ubicación de los Sondajes Diamantinos en Ejes de Presa

CAPITULO II

2. CRITERIOS PARA LA UBICACION DE LOS SONDAJES DIAMANTINOS EN EJES DE PRESA

Para llegar a comprender en mayor amplitud, los criterios que se emplean en nuestro medio para la ubicación de los sondajes diamantinos en los ejes de presa, es conveniente introducir en el texto del presente trabajo una rápida revisión de los principales métodos empleados en los trabajos de reconocimiento, los cuales incidirán directamente en la economía de las investigaciones realizadas en los sondeos.

2.1 Generalidades

Dado los elevados costos de los sondajes diamantinos, es necesario un estudio preliminar que conduce siempre a una economía y precio total de la obra. Este estudio preliminar nos permitirá determinar el número y profundidad de las perforaciones, lo cual depende de las dimensiones de la obra y de la regularidad de las capas del sub-suelo que van a ser atravesadas.

Los criterios de ubicación de los sondajes diamantinos más frecuentemente utilizados en nuestro medio es mediante el reconocimiento geológico superficial y la prospección geofísica método indirecto de exploración.

Siendo las presas obras de carácter permanente, es necesario construirlas con todas las condiciones de seguridad, por lo que el mayor porcentaje de fallas por averías catastróficas, son debido a la mala cimentación de la obra, que es consecuencia de la falta de conocimiento del sub-suelo. La estadística de F.Tölke (Cuadro I-1), muestra lo siguiente:

CUADRO N°I-1

CAUSAS DE AVERIAS CATASTROFICAS EN PRESAS (F.Tölke)

C A U S A	%
Mala construcción de la presa	5
Sub-presiones heterogéneas o no correctas	15
Mala cimentación	80

FUENTE: Saltos de agua y presas de embalse - Tomo II (9)

La importancia del conocimiento del sub-suelo, que va a soportar la construcción de una presa no necesita ser puesta de manifiesto, por lo que un buen programa de exploración geotécnica mediante sondajes diamantinos permitirá a los proyectistas el conocimiento del estado de fisuración, permeabilidad y la constitución geológica de la cimentación, mediante la correlación de los métodos directos e indirectos de prospección.

2.2 Reconocimiento geológico superficial

Es necesario reunir un conocimiento tan completo como sea posible, de las condiciones naturales existentes del lugar establecido como eje de la presa.

La investigación geológica debe confiarse a un equipo de geología competente y experimentado, porque el conocimiento detallado de la geología superficial del eje de la presa que nos llevará por un camino eficaz para obtener una presa racionalmente planeada y construída.

Se debe evaluar la geología regional , la geología del lugar y de los problemas geológicos aparentes del emplazamiento de la presa. Los accidentes geológicos tales como fallas, estratificación en los afloramientos, deberán prestarse especial atención pues los sondajes diamantinos adecuadamente ubicados, permitirán confirmar lo que se aprecia en la superficie y los resultados facilitarán la mejor interpretación de las condiciones geológicas existentes. La inclinación de los sondajes, depende del buzamiento de las capas, por lo cual es importante el conocimiento de éstas desde el punto de vista económico, pues una perforación dirigida en forma normal a la estratificación, reducirá el metraje de perforación si en caso se hiciese ésta en dirección vertical.

El conocimiento de la geología superficial, permitirá inferir en forma preliminar el tipo de material que se va a atravezar en la perforación, el cual servirá de base para el diseño preliminar del sondaje, en lo que se refiere a diámetros de perforaciones, entubados, cementaciones, ensayos especiales, muestras para laboratorio, equipamientos, tipos de brocas, profundidad y número de sondeos; siendo estos dos últimos puntos dependientes del grado de homogeneización de los estratos, fallas y juntas dentro de la zona de influencia de la presa.

2.3 Prospección geofísica

Una forma para obtener información del sub-suelo, es mediante la exploración por métodos de prospección geofísica, esto consiste en tomar medidas físicas en la superficie del terreno mediante instrumentos especiales. Este método de exploración es indirecto y viene a ser una mezcla de física y geología, puesto que las medidas físicas se interpretan de acuerdo a las condiciones del sub-suelo.

La aplicación de la prospección geofísica en lo que a investigaciones geotécnicas en ejes de presa se refiere es limitada, puesto que no rinden una información de detalle comparable a la que se puede adquirir de un buen programa de exploración, mediante sondajes diamantinos.

Los métodos geofísicos son rápidos y expeditos, permitiendo tratar grandes áreas, se aplican con muy buenos resultados en resolver problemas hidrogeológicos, materia que escapa al presente estudio.

El conocimiento de la potencia del material intemperizado o sea la profundidad de la roca firme donde se emplazarían las presas, puede ser obtenida por estos métodos indirectos de exploración y permiten ser utilizados para proporcionar datos de correlación, inicialmente con la geología superficial y posteriormente servirán para complementar y ajustar la descripción de las características de la cimentación con los resultados obtenidos de los sondajes diamantinos. Los métodos más empleados en nuestro medio de prospección geofísica son: la prospección geoeléctrica y la prospección sísmica de los cuales describiré muy brevemente a continuación:

2.3.1 Prospección geoeléctrica

En la prospección geoeléctrica se utiliza el método de resistividades eléctricas logradas en los sondajes eléctricos verticales (S.E.V.). En la práctica, la resistividad eléctrica de una porción de terreno en un determinado emplazamiento (figura II-1), puede medirse colocando cuatro electrodos, igualmente espaciados y alineados en la superficie.

A los dos electrodos exteriores se les denomina electrodos de corriente y consisten en barras de metal terminadas en punta. A los electrodos interiores se les denomina electrodos de potencial, consistentes en recipientes porosos llenos de una solución de sulfato de cobre.

Los electrodos de corriente se conectan en serie a un juego de baterías y a un miliamperímetro; los electrodos de potencial se conectan a un potenciómetro para medir el voltaje (V). La solución de sulfato de cobre de los electrodos de potencial, al filtrarse hacia el suelo, garantizan un buen contacto eléctrico; el circuito a través de las vasijas, se consigue por una barra de cobre que atraviesa sus tapas y penetra en la solución.

La resistividad del terreno se puede calcular a partir de las lecturas de la corriente (I) que se miden en un miliamperímetro; la corriente fluye del juego de baterías y se corre por el terreno entre los dos eléctrodos de corriente. Al mismo tiempo en el potenciómetro se mide el voltaje (V) entre los dos electrodos de potencial.

La resistividad de la roca o tierra (ρ) comprendida entre los electrodos de corriente, se puede obtener mediante la siguiente relación:

$$\rho = 2\pi a \frac{V}{I} \qquad [1]$$

donde "a" es la equidistancia entre los electrodos.

La unidad de resistividad más empleada en nuestro medio es ohmio-metro (Ω-m).

Las mayores resistividades corresponden a rocas duras, siguiendo rocas suaves, gravas compactas, etc. y los valores menores corresponden a suelos suaves-saturados.

Para medir las resistividades a diferentes profundidades en un mismo lugar, se logra aumentando la distancia "a" entre electrodos con lo que se logra que la corriente penetre a mayor profundidad.

Para medir resistividades a una misma profundidad a lo largo de un perfil, se logra conservando constante la distancia "a" entre electrodos y desplazando el equipo sobre la línea a explorar (perfil geoeléctrico).

2.3.2 Prospección sísmica

La prospección sísmica utiliza el método de refracción y reflexión sísmica que consiste en provocar una sacudida del terreno en un punto y en un tiempo dado, para posteriormente registrar el intervalo de tiempo que transcurre en la aparición del efecto de la sacudida en puntos más o menos lejanos.

Las ondas sísmicas son provocadas por detonaciones dispuestas en la superficie del terreno, las cuales originan vibraciones longitudinales y transversales siendo las que se utilizan, las primeras; los cálculos que dan la velocidad de las sacudidas, dan la solución a la prospección sísmica.

Los receptores colocados en la superficie se les denomina geófonos, los cuales se ubican separados ambros entre sí; las ondas sísmicas del punto de detonación llegan a los geófonos que los recogen, amplifican y transmiten al aparato registrador o sismógrafo. El registro obtenido o sismograma consiste en varias líneas o trazos una por cada geófono instalado. Cuando se efectúan medidas de velocidad longitudinal con separaciones frecuentes de los sismógrafos, pueden obtenerse variaciones de la velocidad media si el sub-suelo no es homogéneo. Según el emplazamiento, los sismógrafos registran una onda reflejada (reflexión sísmica) o una onda refractada (refracción sísmica) sobre la capa superior de la capa profunda (ver figura II-2); en la primera, dado que han de recibirse ondas directas, es indispensable el empleo de registradores múltiples, lo que hace el trabajo demasiado costoso, empleandose con mayor frecuencia el método de refracción.

Este método de prospección sísmica es más costoso que el de prospección eléctrica y sirve para determinar la profundidad de la roca firme en el lugar del emplazamiento de la presa; no puede utilizarse para determinar la profundidad de una capa que transmite las ondas sísmicas a una velocidad menor que la de las capas superiores; así mismo se presentan también dificultades

si la superficie del terreno y los contactos entre las capas presentan pendientes muy fuertes, limitando esta última afirmación cuando existen ejes de presa ubicados en lugares muy encañonados.

Mediante la correlación adecuada del reconocimiento geológico superficial de la zona de emplamiento de una presa, con la prospección geofísica realizada en el eje de la misma, permitirá la programación adecuada de los sondajes diamantinos. El número y profundidad de los sondajes diamantinos dependerá directamente de las dimensiones de la obra y la regularidad de los estratos de las formaciones geológicas. La inclinación de los sondajes estará determinado por el buzamiento de las formaciones geológicas, tratándose de dirigir la perforación en forma normal a la inclinación de los estratos, para reducir la profundidad del sondaje.

El conocimiento exacto del material intemperizado y de las formaciones inferiores que soportarán el emplazamiento de la presa, solo podrán ser verificados con la ejecución de los sondajes diamantinos, por lo que su ubicación deberá ser de tal forma que se optimice la relación costo-profundidad del sondaje.

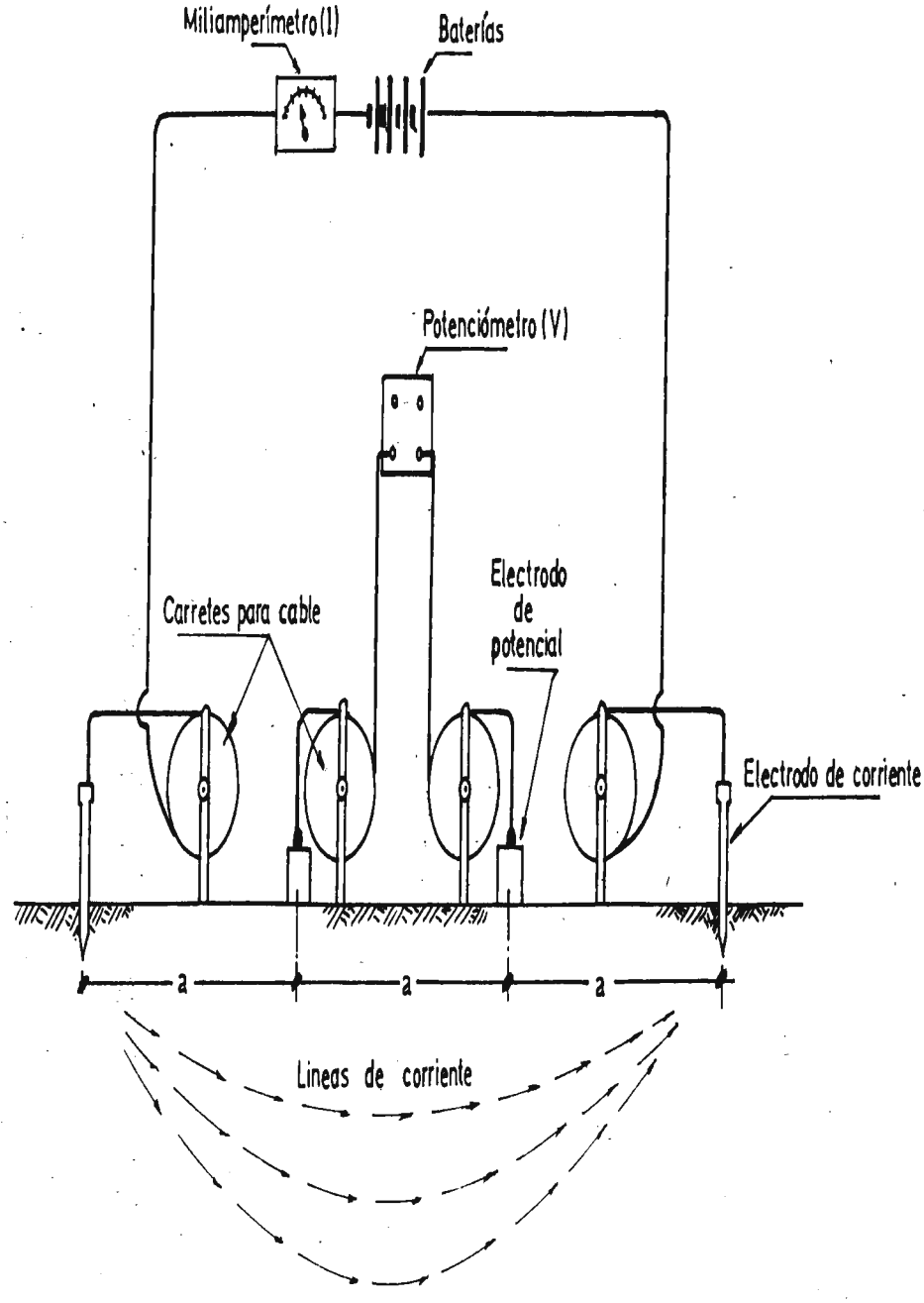
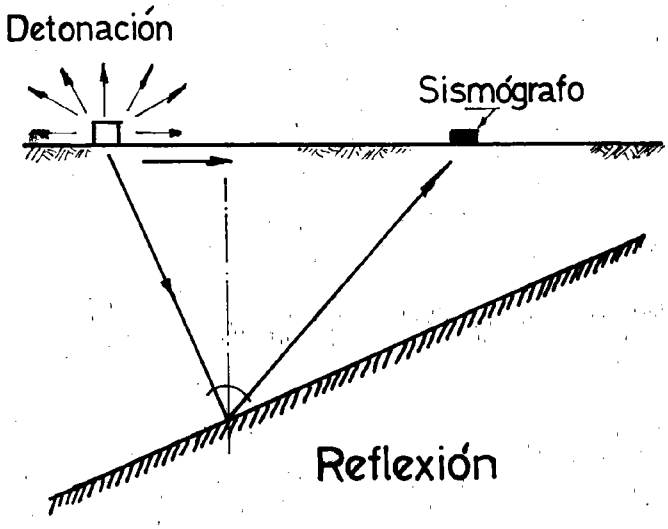


Fig. II-1.- Esquema del montaje utilizado para prospección geoeléctrica (Método de resistividades U.S.B.R.)

Fuente: Krynine (12)



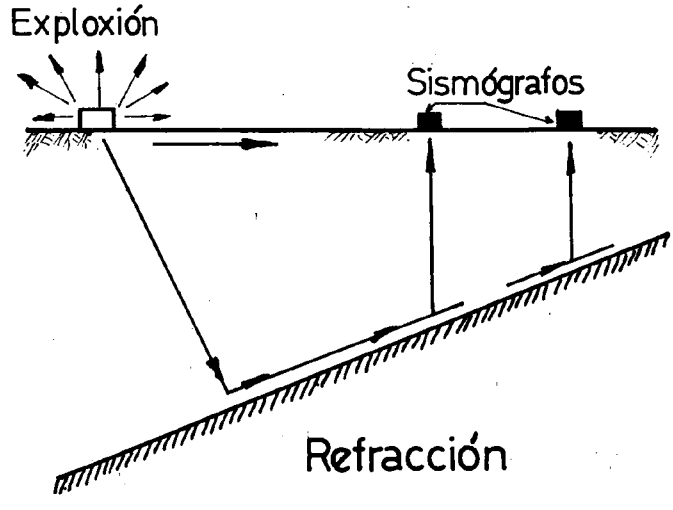


Fig. II-2.-Principio de la reflexión y refracción sísmica

Fuente: Cambefort (3).

CAPITULO III

3. Recopilación de la Información Geológica y Geoeléctrica Empleada en la Ubicación de los Sondajes Diamantinos en el Sitio de Presa Lindachara.

CAPITULO III

3. RECOPILACION DE LA INFORMACION GEOLOGICA Y GEOELECTRICA EMPLEADA EN LA UBICACION DE LOS SONDAJES DIAMANTINOS EN EL SITIO DE PRESA LINDA CHARA

Este capítulo comprende la recopilación y revisión de la información de los estudios realizados en la zona de Presa de la Alternativa Lindachara, del Proyecto Puyango-Tumbes, que incidieron directamente en la relación costo-profundidad de los sondajes diamantinos.

La geología que en este trabajo se consigna ha sido realizada por el Consorcio Internacional Puyango Tumbes y la prospección geoeléctrica ha sido realizada por la Dirección General de Aguas y Suelos del Ministerio de Agricultura, como parte de las Investigaciones Básicas de la Primera Fase del Estudio de Factibilidad del Proyecto Puyango-Tumbes.

3.1 Generalidades

El Cañón de Linda Chara presenta condiciones para la construcción de la presa y para incluir esta presa en el análisis de alternativas del Proyecto Binacional Puyango-Tumbes, ha sido necesario realizar investigaciones geotécnicas, principalmente orientadas a determinar el espesor de los materiales sueltos superficiales en la margen derecha y lo relacionado con el posible drenaje hacia la Quebrada Boliches, que corre en forma paralela al río Puyango-Tumbes sobre la

margen izquierda, las cuales estan separadas por una estrecha línea divisoria que podría comprometer en grados diferentes según la ubicación del eje, la retención del agua acumulada a lo largo del Cañon Linda Chara.

Para la elección de la ubicación, el número y profundidad de los sondeos que dependen directamente de la dimensión de la obra y de la regularidad de las capas, ha sido necesario tener un conocimiento de la geología superficial y la potencia aproximada de los materiales sueltos superpuestos sobre la roca sana, mediante métodos geoeléctricos en el sitio de presa; los cuales correlacionados con los sondeos mencionados servirán para determinar las condiciones geotécnicas de la alternativa de presa Linda Chara.

La geología superficial determina en este caso las características geomorfológicas, estratigrafía y litología de las rocas aflorantes y los rasgos estructurales de los macisos rocosos; la prospección geoléctrica evaluará el relieve de roca sana y la potencia de material suelto superpuesto sobre éste.

3.2 Geología superficial del sitio de presa Linda Chara

3.2.1 Geomorfología

El sitio de presa, presenta dos rasgos geomorfológicos predominantes: el cañón de Linda Chara y el Valle de Boliches los cuales presentan condiciones simétricas.

El cañón de Linda Chara presenta en el flanco derecho pendientes variables, notándose en las pendien

tes fuertes (50° - 75°), la formación de cascadas y barrancos en los afloramientos de areniscas y conglomerados, en las pendientes suaves (20°), existen sedimentos arcillosos. En el fondo del cañón, en los cambios de pendiente, existen acumulaciones eluvio-deluviales constituidos por materiales de roca descompuesta "in situ" y de poco transporte teniendo espesores hasta de 5 m. y en las zonas de mayor pendiente espesores de 1.5 m.

En el flanco izquierdo del cañón, presenta una pendiente mayor que el flanco derecho que coincide con el buzamiento de los sedimentos; en el fondo del mismo, existen cornizas colgadas de bancos de areniscas que buzan en dirección del río que pueden ser deslizables por saturación del agua del embalse.

El valle de Boliches corre en forma paralela al Cañón de Linda Chara, interponiendose entre ellas la divisoria de aguas (cresta de Boliches) que en algunos casos presentan un espesor de 5 m., siendo la ladera derecha de mayor pendiente.

3.2.2 Estratigrafía encontrada

En la zona del sitio de presa, afloran exclusivamente rocas sedimentarias cretácicas y depósitos cuaternarios. (ver fig. N° III-1)

3.2.2.1 Formaciones sedimentarias cretácicas

Se consiguieron diferenciar de arriba hacia abajo las siguientes unidades estratigráficas:

a. Formación Condor Flores (Kcf)

Constituida de lutitas, limolitas y escasos horizontes de caliza.

En el eje I, la secuencia esta alternada hasta aproximadamente los 25 m. de profundidad desde la superficie, presentándose en estratificación delgada bastante fracturada.

En el eje II la secuencia se encuentra fracturada e intemperizada hasta los 20 m. aproximadamente.

b. Formación Linda Chara (KlCh)

Constituida en ambos ejes de presa; por bancos de areniscas de grano medio a fino y matriz limosos calcáreo, macizos medianamente duros en bancos de hasta 1.5 m. de grosor, resistentes, concresiones calcáreas y el grosor del paquete de aproximadamente 100 m.

c. Formación Boliches (Kbo)

Esta formación se presenta en ambos ejes, constituida por lutitas y limolitas compactas, fósiles y fracturadas; es semidura y quebradiza, se presenta en estratos delgados, superficialmente muestran intemperismo y fuerte fracturamiento, su espesor promedio estimado es de 150 m.

d. Formación Mal Paso (Kmp)

Compuesta por lutitas, lodolitos y areniscas intercaladas, de estratificación delgada, medianamente dura desleznable donde está intemperizada, predominan las lutitas hacia la base; esta formación practicamente no esta comprometida con la estructura proyectada y tiene una potencia de unos 150 m. estimada.

3.2.2.2 Depósitos Cuaternarios

a. Depósitos eluvio-deluviales (el-d)

Consistentes de fragmentos angulosos de diversas dimensiones, rodados, constituidos principalmente de lutitas y areniscas (35%) y relleno limo arcilloso con algo de arena (65%), la potencia varía de 1 a 5 m. aproximadamente.

b. Depósitos aluviales contemporánea de cauce y terrazas de cauce (al-$Q\frac{2}{IV}$)

Consistentes de cantos rodados, grava gruesa y 60% de relleno de arena y escasos limos.

c. Depósitos aluviales contemporáneos de la terraza anegadiza (al-$Q\frac{1}{IV}$)

Consiste de cantos rodados, grava gruesa y fina con 60% de arena limosa.

d. Depósitos eluviales (el-Q_{III-IV})

Consistentes principalmente de grava (25%), y relleno arcillo limoso (75%); la potencia varía de 1 a 3 m.

e. Depósitos aluviales del cuaternario superior (al-Q_{III})

Consistente en cantos rodados, gravilla y 50% de relleno de arena limosa.

f. Depósitos deluvio proluviales (d-pl)

Consistente de bloques rodados y grava angulosa (50%), con rellenos de arcilla limosa y arena (50%); tiene aproximadamente 5 m. de espesor.

3.2.3 Geología estructural

El sitio de presa se ubica en el flanco sur del sinclinal del espolón de Linda Chara; todas las formaciones aflorantes presentan un buzamiento hacia el norte de 25° en promedio, presentándose la zona un poco disturbada, caracterizándose por la no existencia de fallas de alto ni mediano rango, más bien algunas de menor importancia de orientación NNE sub-verticales.

El fracturamiento ocurre en diferentes rumbos, observándose aberturas que llegan hasta 5 cm., que estan rellenadas de material arcilloso.

En las lutitas se desarrolla el diaclasamiento principal con dirección E-W, con inclinación de 70°; en las areniscas las diaclasas son menos frecuentes y sugieren a opinar que estas no son muy profundas en las lutitas.

3.3 Prospección geoeléctrica

La finalidad de la prospección geoeléctrica es la determinación del relieve del horizonte rocoso superior (roca sana) y la potencia de los materiales superpuestos, para así proyectar las perforaciones diamantinas. La operación de campo se realizó mediante la configuración de electrodos de SCHLUMBERGER, con una distancia máxima entre los electrodos de corriente de 100 m., efectuándose a lo largo de los ejes I y II perfiles geoeléctricos con longitudes aproximadas de 650 m. cada uno.

Se utilizaron 2 potenciómetros SERCEL, alimentados por 2 baterías de 12 voltios y 2 convertidores de 200 y 1000 Watts.

a. En el eje I

Se han detectado 3 horizontes hasta la roca, y en algunos casos 4; con los siguientes resultados, como se puede apreciar en el cuadro N° III-1

a.1 Primer horizonte

Resistividades de 80 a 600 Ω-m., predominando resistividades por encima de 250 Ω-m., que nos indica la presencia de material superficial seco resistente y de espesores de unos centimetros hasta 5 m.

a.2 Segundo horizonte

Se midieron resistividades comprendidas entre 36 y 400 Ω-m., encontrándose la mayoría por debajo de los 100 Ω-m., que nos indica que es un horizonte humedecido y de material medio a grueso, la potencia de este horizonte varía de 1 a 12 m. aproximadamente.

a.3 Tercer horizonte

Presenta resistividades comprendidas entre 19 y 300 Ω-m., en su mayoría encontrándose valores por debajo de los 100 Ω-m., indicando que corresponden a materiales finos de tipo limo y arcilla, con presencia de bloques sueltos.

a.4 Horizonte rocoso superior

Presenta resistividades de 100 Ω-m. hasta infinito.

b. En el eje II

Se presentan características similares al eje I, como se aprecia en el Cuadro N° III-2

b.1 Primer horizonte

Presenta un rango de resistividades que van de 80 a .. 1900 Ω-m., correspondiendo a material seco y resistente, con una potencia de 0.3 a 2.10 m.

b.2 Segundo horizonte

Presenta un rango de resistividades que varía de 24 a 275 Ω-m., pero generalmente menor que 100 Ω-m., que representa el horizonte de material humedecido.

b.3 Tercer horizonte

Presenta generalmente resistividades bajas que corresponden a materiales finos tipo limos y arcillas.

b.4 Horizonte rocoso superior

Es resistente y presenta iguales características del eje I.

CUADRO Nº III-I

PERFILES GEOELECTRICOS EJE I

RESISTIVIDADES - PROFUNDIDADES

SONDAJE Nº	HORIZONTE 1		HORIZONTE 2		HORIZONTE 3		HORIZONTE 4		BASAMENTO ROCOSO	
	ρ_1 ohmm	h_1 m	ρ_2 ohmm	h_2 m	ρ_3 ohmm	h_3 m	ρ_4 ohmm	h_4 m	ρ ohmm	h m
1	380	1.20	95	11.80	19	2.00				15.00
2	235	.60	80	9.40	27	2.20				12.00
3	480	1.00	100	8.00	50	5.00				14.00
4	480	.60	120	5.00	24	4.20			230	10.00
5	400	1.00	170	4.80	32	4.20			140	10.00
6	600	.75	120	7.00	40	2.25			160	10.00
7	130	.85	44	5.65	30	4.50			150	11.00
8	95	2.00	24	7.00					120	9.00
9	140	.50	48	7.00	25	1.50			125	7.00
10	110	1.75	36	3.10	100	1.20				11.00
11							36	7.10		
12	300	.30	130	2.10	44	2.60				11.00
13	550	1.00	80	4.00						5.00
14	178	1.00	36	6.00					260	7.00
15	178	1.00	36	6.00					260	7.00
16			240	2.50	80	1.50				4.00
17	240	2.50	80	4.00					320	5.00
18	95	2.90	65	5.10					260	8.00
19	90	1.30	230	5.70	80	3.00			220	10.00
20	165	.65			110	6.35				7.00
21	270	5.00	400	1.50	100	.50			290	8.00
22	110	2.00	55	5.00					290	7.00
23	250	1.40	65	3.60					170	5.00
24	170	.47	73	2.35	170	1.18	85	6.00	195	10.00
25	300	.65	130	3.25	300	.60	120	6.50	225	11.00
26	80	.80	180	1.00	65	7.20			100	9.00

(FUENTE: PROYECTO PUYANGO-TUMBES)

CUADRO N°III-2

PERFIL GEOELECTRICO EJE II

RESISTIVIDADES - PROFUNDIDADES

SONDAJE N°	HORIZONTE 1		HORIZONTE 2		HORIZONTE 3		HORIZONTE 4		BASAMENTO ROCOSO	
	ρ_1 ohmm	h_1 m	ρ_2 ohmm	h_2 m	ρ_3 ohmm	h_3 m	ρ_4 ohmm	h_4 m	ρ ohmm	h m
1	250	.60	50	3.10	100	18.20	44	3.20		25.00
2	600	.40	24	7.60	600				600	8.00
3	1900	.50	270	2.90	7	3.60				7.00
4	550	.60	145	14.40					550	15.00
5	440	1.10	90	4.40	13	5.50			110	12.00
6	650	.70	160	2.10	28	7.20			320	10.00
7	320	1.00	70	3.00	27	9.00			100	11.00
8	140	1.20	40	7.80					360	9.00
9	900	.33	100	.30	230	8.40			160	9.00
10	180	2.10	120	15.00		2.40	55	6.00	500	17.00
11	80	1.30	40	9.70		7.90	34	1.00	150	11.00
12	110	.50	47	11.50		9.00			110	12.00
13	110	.40	275	1.20	116				270	10.00
14	80	.42	53	.70	100				300	10.00
15	760	1.60	67	2.40	36				150	13.00
16	600	.53	85	8.47					750	9.00
17	95	1.50	32	3.50						5.00
18	180	2.10	120	1.90					480	4.00

(FUENTE: PROYECTO PUYANGO-TUMBES)

3.4 Ubicación de los sondajes diamantinos

Con la información de la geología superficial y de la prospección geoeléctrica en el sitio de presa Linda Chara, se proyectaron los siguientes sondajes diamantinos: (ver figuras N° III-1, III-2, III-3).

3.4.1 Sondajes en el Eje I

a. Sondaje L-1

Perforación vertical programada para obtener información de las profundidades en las que se encuentra la roca afectada en menor grado de intemperismo (roca sana) y las no afectadas por ésta (roca fresca), establecer el contacto entre las lutitas con las areniscas calcáreas y determinar las condiciones geotécnicas del estribo derecho del Eje I de presa.

Profundidad proyectada -100 m.

b. Sondaje L-2

Perforación programada para la obtención de información acerca de las profundidades en las que se encuentran la roca sana y gresca; establecer el contacto entre las lutitas y las areniscas calcáreas y determinar las condiciones geotécnicas de la roca en la zona del lecho del río Puyango-Tumbes.

Esta perforación se programó con una inclinación de 19° (con respecto a la vertical) hacia el río, en forma normal a las capas estratigráficas previstas.

Profundidad proyectada - 85 m.

3.4.2 Sondajes en el Eje II

a. Sondaje L'-1

Perforación vertical programada para obtener información sobre las profundidades en las que se encuentra la roca sana y fresca; establecer el contacto entre las lutitas y las areniscas calcáreas y determinar las condiciones geotécnicas de las rocas del estribo derecho del Eje II de presa.

Profundidad proyectada - 90 m.

b. Sondaje L'-2

Este sondaje se programó para conseguir información de las profundidades de la roca sana y fresca; establecer el contacto entre las areniscas calcáreas y las lutitas adyacentes y determinar las condiciones geotécnicas de las rocas en la zona del lecho del río. Se programó con una inclinación de 18° hacia el río en forma normal a las capas estratigráficas previstas anteriormente.

Profundidad proyectada - 110 m.

c. Sondaje L'-3

Esta perforación vertical se programó para obtener información de las profundidades que se encuentran en la roca sana y fresca; establecer el contacto entre los estratos de areniscas y lutitas subyacentes y determinar las condiciones geotécnicas de las rocas del estribo izquierdo del Eje II.

Profundidad proyectada - 65 m.

Los sondajes diamantinos proyectados son todos con recuperación continua de testigos y ensayos de permeabilidad.

CAPITULO IV

4. PERFORACIONES DIAMANTINAS

CAPITULO IV

4. PERFORACIONES DIAMANTINAS

Este capítulo comprende la descripción de perforaciones por rotación con el empleo de coronas diamantinas, método ampliamente utilizado en prospecciones geotécnicas de ejes de presa; comprende así mismo, la descripción del equipo, parámetros geotécnicos que se obtienen de la testificación contínua y se proponen registros para el mejor control de las perforaciones diamantinas. Estos conocimientos han sido ampliados gracias a la ayuda de Ingenieros Especialistas de la Dirección General de Irrigaciones y de diferentes Compañías Contratistas relacionados con esta actividad.

4.1 Generalidades

Los sondeos ejecutados mediante perforaciones diamantinas, se realizan por desgaste o corte de la corona diamantina al terreno, en forma circular. Dado que el procedimiento es de rotación, separa del resto del terreno un núcleo central llamado testigo, extrayendolo a continuación después de haberla cortado de subase a la superficie. Para esto se requiere un mínimo de consistencia de la roca, no pudiéndose aplicar este procedimiento en gravas y lechos movibles, porque la corona hace girar con ella los elementos a su alcance sin perforarlos, salvo que se empleen elementos que consoliden el terreno y faciliten las labores de trabajo.

Este procedimiento es el más efectivo para realizar investigaciones subterráneas en basamentos rocosos de obras de gran mag

nitud como son las cimentaciones de presas, centrales hidroeléctricas, etc.; dadc que permiten averiguar las características ingenieriles de los terrenos en los cuales se asentará la construcción planeada.

4.2 Esquema general

El esquema general de la perforación rotativa mediante el empleo de coronas diamantinas, se representa en la Figura IV-1.

El sistema de instalación está compuesto basicamente por el equipo de sondeo, la bomba y un motor que accione estos.

El equipo de sondeo se compone de los siguientes elementos:

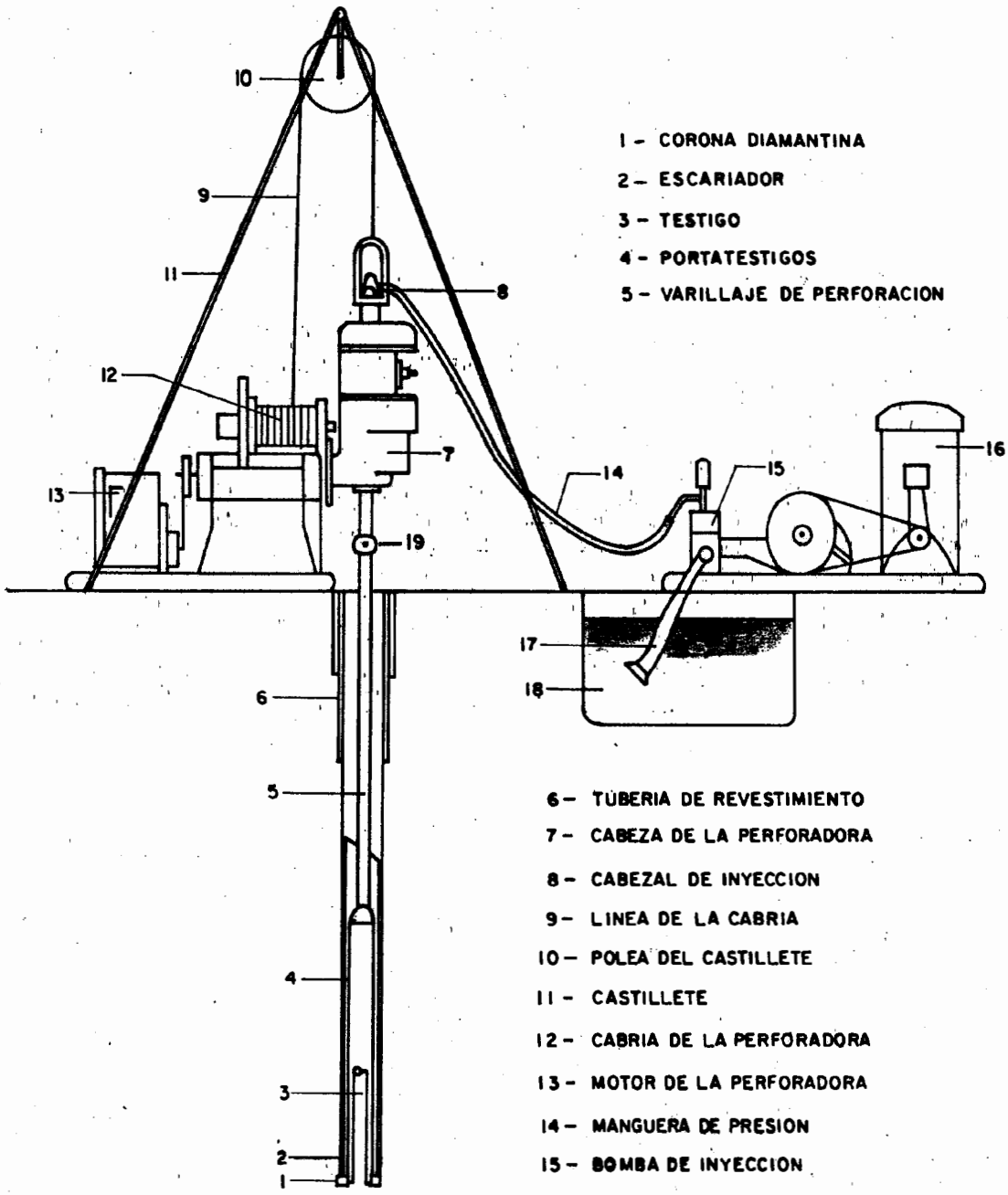
- Bomba
- Máquina de perforación rotativa
- Castillete o mástil del sondeo
- Cabezal de inyección
- Varillaje de perforación
- Tubería de revestimiento
- Portatestigos
- Coronas diamantinas.

} Herramientas de Perforación

La perforación a rotación, exige un sistema de circulación continua de agua mediante inyección de ésta a presión, con la finalidad de refrigerar los elementos rotativos.

4.3 Tamaños standard de las herramientas de perforación

La standarización de las herramientas de perforación y accesorios, están basados generalmente en los diámetros interior y exterior del varillaje, portatestigos, coronas diamantinas, tu



1 - CORONA DIAMANTINA
2 - ESCARIADOR
3 - TESTIGO
4 - PORTATESTIGOS
5 - VARILLAJE DE PERFORACION
6 - TUBERIA DE REVESTIMIENTO
7 - CABEZA DE LA PERFORADORA
8 - CABEZAL DE INYECCION
9 - LINEA DE LA CABRIA
10 - POLEA DEL CASTILLETE
11 - CASTILLETE
12 - CABRIA DE LA PERFORADORA
13 - MOTOR DE LA PERFORADORA
14 - MANGUERA DE PRESION
15 - BOMBA DE INYECCION
16 - MOTOR DE LA BOMBA
17 - MANGUERA DE SUCCION
18 - LIQUIDO EMPLEADO EN LA PERFORACION
19 - ROD HOLDER (MANDRIL)

FUENTE : CRAELIUS(7)

FIG. IV-1 .- ESQUEMA GENERAL DEL EQUIPAMIENTO DE UN SONDAJE DIAMANTINO.

berías de revestimiento y ensanchadores. Los principales países fabricantes de estos elementos son: Estados Unidos de N. A., Canadá, Suecia, Unión Soviética, Japón, Sud-Africa y Australia, adoptando los dos primeros países el sistema de medida inglés, codificando por conveniencia a los diferentes diámetros con letras, en cambio el resto de países utiliza el sistema métrico.

La Diamond Core Drill Manufacturers Association (D.C.D.M.A.), asociación compuesta por miembros de Estados Unidos de N.A. y Canadá, establece dimensiones standard como se mencionó anteriormente, codificando los tamaños de los diámetros con nombres compuestos de dos o tres letras cuya nomenclatura se muestra en los cuadros IV-1a y IV-1b adjuntos.

En el Cuadro IV-2, se muestra las dimensiones nominales para los revestimientos y accesorios de acuerdo a la D.C.D.M.A., siendo los más empleados en nuestro país las series EX, AX, BX y NX.

CUADRO N°IV-1

NOMENCLATURA DE LA DIAMOND CORE DRILL MANUFACTURERS ASSOCIATION D.C.D.M.A

CUADRO N°IV-1a - NOMBRES DE TRES LETRAS				
PRIMERA LETRA			SEGUNDA LETRA	TERCERA LETRA
TAMAÑO DEL SONDAJE			G R U P O	D I S E Ñ O
Tubería de revestimiento; portatestigos; corona diamantina; escariadores y varillaje diseñados para ser utilizados juntos, para perforaciones de un tamaño aproximado del sondaje.			Clave de los Øs standarizados en un grupo integrado con bases para reducir progresivamente el tamaño del sondaje con revestimientos acoplados.	La standarización de otras dimensiones, incluyendo diversas características para permitir el intercambio de partes hechas por diferentes fabricantes.
LETRA	PULGADA	MILIMETRO	Las letras X y W son sinónimas cuando se usan como GRUPO (segunda letra). El grupo X, indica conecciones de revestimientos y accesorios con el uso de acoplamientos. El grupo W, indica conecciones de revestimiento y accesorios en forma directa	El diseño especifíca el tamaño del instrumento de perforación en particular de acuerdo al fabricante, y no indica un tipo de diseño.
R	1	25		
E	1 1/2	40		
A	2	50		
B	2 1/2	65		
N	3	75		
K	3 1/2	90		
H	4	100		
P	5	125		
S	6	150		
U	7	175		
Z	8	200		

CUADRO N°IV-1b - NOMBRES DE DOS LETRAS	
PRIMERA LETRA	SEGUNDA LETRA
TAMAÑO DEL SONDAJE	GRUPO Y DISEÑO
Tamaño aproximado del sondaje con la misma nomenclatura empleada con los nombres de tres letras.	Grupo: Clave de la standarización de diámetros. Diseño: Standarización de las dimensiones de acuerdo a la intercambiabilidad.

FUENTE: Earth Manual (25)

CUADRO N°IV-2

DIMENSIONES NOMINALES EN PULGADA, PARA TUBERIAS DE REVESTIMIENTO Y ACCESORIOS DE LA DIAMOND CORE DRILL MANUFACTURERS ASSOCIATION (D.C.D.M.A.)

DESIGNACION DE TAMAÑO			ACOPLAMIENTOS DE REVESTIM.					Ø APROXIMADO DEL TESTIGO	
Revestimiento y acoplamiento, coronas del revestimiento y coronas del portatestigos	Varillaje y acoplamientos del varillaje	Ø Exterior del revestimiento	Ø Exterior	Ø Interior	Ø Exterior del anillo cortante del revestimiento	Ø Exterior de la corona del portatestigos (*)	Ø Exterior del varillaje	Normal	Para almacenaje (cajones)
RX	RW	1.437	1.437	1.188	1.485	1.160	1.094	-	0.735
EX	E	1.812	1.812	1.500	1.875	1.470	1.313	0.845	0.905
AX	A	2.250	2.250	1.906	2.345	1.875	1.625	1.185	1.281
BX	B	2.875	2.875	2.375	2.965	2.345	1.906	1.655	1.750
NX	N	3.500	3.500	3.000	3.615	2.965	2.375	2.155	2.313
HX	HW	4.500	4.500	2.938	4.625	3.890	3.500	3.000	3.187
RW	RW	1.437	Conexiones (Juntas) de inyección directa	Ningún acoplamiento	1.485	1.160	1.094	-	0.735
EW	EW	1.812			1.875	1.470	1.375	0.845	0.905
AW	AW	2.250			2.345	1.875	1.750	1.185	1.285
BW	BW	2.875			2.965	2.345	2.125	1.655	1.750
NW	NW	3.500			3.615	2.965	2.625	2.155	2.313
HW	HW	4.500			4.625	3.890	3.500	3.000	3.187
PW	-	5.500			5.650	-	-	-	-
SW	-	6.625			6.790	-	-	-	-
UW	-	7.625			7.80	-	-	-	-
ZW	-	8.625			8.810	-	-	-	-
-	AX(1)	-	-	-	-	1.875	1.750	1.000	-
-	BX(1)	-	-	-	-	2.345	2.250	1.437	-
-	NX(1)	-	-	-	-	2.965	2.813	1.937	-

(*) Para la aproximación del diámetro del sondaje, asumir 1/32", más grande que la corona del portatestigos.

(1) Para las dimensiones del sistema Wire-Line; las dimensiones pueden variar de acuerdo al fabricante.

FUENTE: Earth Manual (25)

4.4 Breve descripción del equipo empleado en las perforaciones diamantinas

4.4.1 Máquinas de perforación rotativa y bombas

4.4.1.1 Máquinas de perforación rotativa

Para conseguir que las herramientas de perforación giren en el fondo del sondaje y permitan aplicar el peso sobre los elementos cortantes, es necesario fijar estar herramientas al extremo de un tubo hueco rígido.

De acuerdo a la forma de suspender las herramientas de perforación, Cambefort (2) clasifica las máquinas de perforación rotativas en:

- Sondas rotativas y
- Mesas giratorias o de rotación.

Las sondas rotativas, aseguran al mismo tiempo la rotación y la suspensión de las herramientas de perforación; en cambio las mesas giratorias permiten solamente la rotación. En ambos casos obligatoriamente para las labores de ascenso y descenso de las herramientas, deben tener un sistema de suspensión formado por un cable y una polea.

La mesa giratoria o de rotación, se compone basicamente de un bastidor fijo a una placa pesada que gira mediante rodajes. La placa giratoria está formada por una corona dentada, sobre la que actúa un piñón cónico fijo al árbol de ataque, el cual está unido a un motor independiente de la mesa de rotación.

A través de la mesa de rotación, se desliza un tubo especial muy resistente de sección cuadrada o exagonal, el cual se conecta por su extremo superior al cabezal de inyección y por su extremo inferior al varillaje. Este tubo especial se denomina "tubo de arrastre" o "Kelly-bar".

Las mesas de rotación, se emplean exclusivamente para ejecutar sondeos verticales de explotación.

Las sondas rotativas, se componen esencialmente de un "mandril" deslizante (rod holder), montado sobre un soporte con rodajes, a través del cual puede pasar el varillaje, lográndose el arrastre mediante el uso de una caja de cambios intermedia de 2 ó 3 velocidades.

El dispositivo de avance se ejecuta, haciendo ir el "mandril" hacia adelante, pero siempre solidario con el varillaje a los que transmite su rotación. Existen cuatro sistemas de avance:

1°) A mano, por medio de una palanca o un volante.
2°) Mecánico, mediante tornillos diferenciales.
3°) Hidráulico, basado en un gato hidráulico de doble efecto concéntrico con el varillaje.
4°) A motor, donde el varillaje, es la prolongación del eje del motor de rotación que está instalado sobre una corredera. Este último sistema está fuera de uso.

En prospección geotécnica, las máquinas de perforación más empleadas son las sondas rotativas de avance hidráulico, porque facilitan la regulación más exacta de la carga sobre el terreno, permitiendo el

mínimo esfuerzo del perforista; asímismo permiten fijar los contactos de rocas de distinta dureza y puede ser utilizado además como gato hidráulico en caso de trabarse los accesorios de la perforación, el motor está conectado a un cabezal de rotación que hace girar el varillaje de perforación, por medio de engranajes que hacen presión con el gato hidráulico sobre el varillaje, para que penetre la corona diamantina en el terreno.

La fuerza motriz para las operaciones de ascenso y descenso de los accesorios, es transmitida por intermedio de aparatos elevadores (cabrias) del tipo de cable. El cable de acero, está fijado en forma permanente al tambor instalado en la sonda.

Las sondas rotativas y mesas de rotación, pueden estar montadas en vehículos o sobre patines para facilitar su transporte.

Las máquinas de perforación a rotación utilizadas en investigaciones geotécnicas, requieren una velocidad de rotación mayor que la de las máquinas utilizadas en estudios de suelos y estas deben tener de 500 a 3,000 R.P.M.

4.4.1.2 Bombas

Las bombas tienen como función principal, inyectar agua a presión dentro del sondaje a través del varillaje, con el objetivo de refrigerar los accesorios de la perforación y lavar los detritos del sondeo.

Los tipos de bombas más empleados en nuestro medio, son las de tipo triplex o duplex de desplazamiento positivo, con potencias que varían de 2 a 15 HP; actuando a 3,000 R.P.M., con rendimientos que varían hasta 135 l/min. y con presiones de hasta 50 Kg/cm^2.

En nuestro país existen numerosas compañías importadoras de estas máquinas de perforación y de bombas como son: la Acker, Joy, Long Year, Craelius, etc.; cuyas especificaciones técnicas son muy variadas y particulares, por lo que entrar a la descripción detallada escapa a los límites del presente estudio.

4.4.2 Castilletes

Los castilletes o mástiles de sondeo, son elementos de madera o metálicos, siendo estos últimos de tubos o de hierro angular.

El castillete es una simple grúa, que tiene una polea centrada sobre la boca del sondaje, donde la fuerza motriz corre a cargo del cabrestante a través de la polea para realizar operaciones auxiliares, tales como, colocar o quitar el revestimiento y el varrillaje, así mismo izar el portatestigos. Los castilletes pueden tener cuatro patas o simplemente tres (trípode), siendo estos últimos los que más se utilizan en máquinas de perforación instaladas sobre patines, mientras que los castilletes de cuatro patas generalmente son abatibles, constituyendo ésta una parte de las máquinas montadas en vehículos.

La función del castillete, es facilitar las labores de ascenso y descenso de las herramientas de perforación

al sondaje, por lo que su altura depende de la profundidad proyectada del sondeo y de la magnitud del avance en profundidad durante una carrera completa, dado que, como se emplean elementos rígidos, la velocidad de maniobra para el cambio de herramientas de perforación, depende en gran parte del número de elementos enroscados unos a otros.

4.4.3 El varillaje

El varillaje, está conformado por tubos de acero huecos y sin costura, de longitud y diámetro variables, siendo los más empleados de 1.5 a 3 m. de longitud y de diámetro exterior de 33.5 a 73 mm.

Durante las labores de perforación, estos se disponen unos a continuación de otros y están unidos al portatestigo. Generalmente el largo del tramo es levemente inferior a la altura de la torre.

Durante su fabricación a la tubería del varillaje, normalmente se le somete a un templado mediante corriente de alta frecuencia a fin de darle una gran resistencia a su superficie. En forma comercial, el varillaje presenta en sus extremos generalmente roscas de sección cuadrada o cónica, que pueden ser del tipo macho y hembra o hembra y macho, según los casos.

Para unir las tuberías del varillaje, se debe utilizar acoplamientos de acuerdo a la rosca final de los extremos, los cuales tienen un diámetro interior menor

que el diámetro interior del varillaje, manteniéndose el diámetro exterior constante. Análogamente cuando se quiere reducir o ampliar el tamaño de varillaje, se usan acoplamientos de caja a caja, o de caja a espiga, como se ilustra en la figura IV - 2.

La Diamond Core Drill Manufacturers Association, normaliza los tamaños (diámetros) de varillaje y el acoplamiento de éstos, como se muestra en el Cuadro IV-3.

Para el ascenso y descenso del varillaje, es necesario utilizar LLaves Stillson para enroscado, desenroscado, retención del varillaje y el grillete de suspensión.

4.4.4 Tubería de revestimiento (Casing)

El empleo de la tubería de revestimiento, se lleva a cabo cuando:

- Es necesario la entibación de las paredes inestables del sondaje.
- Cuando se quiere aislar un horizonte geológico de otro.
- Para asegurar la dirección rectilínea del sondaje, sobre todo a la iniciación del mismo.

Las tuberías de revestimiento son fabricados con acero de alta calidad, siendo los tubos negros extrafuertes o normalizados los de más fácil adquisición, encontrándose en el mercado en piezas de 1.5 a 3 m. de longitud.

CUADRO N°IV-3

TAMAÑOS STANDARD EN PULGADAS DEL VARILLAJE DE LA DIAMOND CORE DRILL MANUFACTURERS ASSOCIATION

Designación de tamaño	Observaciones	Varillajes Acoplamiento	Varillaje	Acoplamiento	Hilos/pulg.
		D.Ext.	D.Int.	D.Int.	
E	Standarización antigua aun empleada en muchos proyectos	1.313	0.844	0.438	3
A		1.625	1.266	0.563	3
B		1.906	1.406	0.625	5
N		2.375	2.000	1.000	4
RW	Standarización actual	1.094	0.719	0.406	4
EW		1.375	1.000	0.437	3
AW		1.718	1.344	0.625	3
BW		2.125	1.750	0.750	3
NW		2.625	2.250	1.375	3
HW		3.500	3.062	2.375	3
KWH	Hilos cónicos	2.875	2.312	1.375	4
KWY		3.500	2.875	1.750	4
AQ	Varillaje de Perforaciones Wire Line (1) (Hilos cónicos)	1.750	1.375	-	4
BQ		2.188	1.813	-	3
NQ		2.750	2.375	-	3
HQ		3.500	3.063	-	3
PQ		4.500 4.625(2)	4.063	4.063	3

(1) En el sistema Wire Line las dimensiones y designaciones pueden variar de acuerdo al fabricante.

(2) Para el tamaño PQ, diámetro exterior del varillaje = 4.500 pulg.; diámetro exterior del acoplamiento de varillaje = 4.625 pulg.

FUENTE: Earth Manual (25)

La parte inferior del casing está provista de un anillo cortante de acero duro (zapata) especialmente cuando el hincado del tubo, debe hacerse a través de una capa dura de suelos, utilizándose éstas para preservarlas de las posibles deformaciones que puede sufrir el extremo inferior del revestimiento, durante su descenso al pozo.

La hincadura del revestimiento puede hacerse mediante el método de percusión, disponiendo de un martillo pesado de caída libre, o en su defecto mediante el método rotativo, siendo en este caso la zapata una corona diamantina (casing shoe).

Las uniones de los tubos son muy similares a las de la tubería del varillaje, empleándose asímismo, acoplamientos para reducir o ampliar el diámetro; o también pueden existir acoplamientos del varillaje al revestimiento, como se aprecia en el figura IV-4; sobretodo para labores de ascenso y descenso, utilizando el grillete de suspensión.

En el cuadro IV-2, se indican los tamaños standarizados por la D.C.D.M.A. Cuando el sondeo se concluye y el revestimiento ya no es necesario, éste se recupera para volver a utilizarlo.

4.4.5 Cabezal de inyección

El cabezal de inyección (Water Swivel), es un elemento que permite el paso del agua a presión a los tubos del varillaje (figura IV-5). La parte superior del cabezal lleva una unión que sirve de conección a la man

guera de alta presión que proviene de la bomba. La parte inferior se conecta con la parte alta del varillaje, como se aprecia en la figura IV-1. Para asegurar la inamovilidad de estas uniones durante la rotación, este elemento lleva rodajes de bolas que separan las partes fijas y móviles.

4.4.6 Coronas diamantinas

Las coronas diamantinas (figura IV-6), son los elementos de corte en el sistema de perforación diamantina, presentando muchas ventajas sobre el resto de elementos de corte, usados en las perforaciones rotativas.

Las ventajas del empleo de estas coronas son las siguientes:

a) Puede penetrar en cualquier tipo de formación, ya sea blanda o dura y permitiendo obtener altos porcentajes de recuperación de testigos.

b) Reduce los costos de mantenimiento y operación, dado que facilita las operaciones de perforación y los costos de transporte son bajos.

c) La corona diamantina origina paredes del sondaje lisas de tal forma que el desgaste del equipo por vibración con otros tipos de coronas.

d) Mantiene el diámetro externo del sondaje en forma constante en toda la longitud de la perforación.

e) Debido a su alta capacidad de corte, el número de coronas empleadas son mínimas en comparación con otros tipos de coronas.

4.4.6.1 Diamantes utilizados

Los diamantes que se utilizan en las coronas diamantinas, son los no aptos para ser usados en joyería (diamantes industriales), y que presentan las siguientes características:

- Buena conductividad de calor
- Bajísimo coeficiente de expansión calorífica
- Alta resistencia química
- Baja conductividad eléctrica
- Alta resistencia al desgaste y a la presión.

Los diamantes no aptos para joyería que en la actualidad son utilizados en las coronas diamantinas, son de tres tipos; carbonos, ballas y boartz, los cuales se describen a continuación:

a) Carbonos

Diamantes de color muy oscuro, sin forma critalina aparente. Su ausencia de crucero permite cortarlos en fragmentos cúbicos cuyo peso varía de 0.15 a 4 quilates. Su peso específico varía de 3.2 a 3.5 siendo muy variable su tenacidad y dureza.

b) Ballas

Diamantes compuestos por un agregado de pequeños cristales que radian a partir de su centro, muy difíciles de exfoliar y extremadamente duros y resistentes. El Ballas es un tipo intermedio entre los diamantes de extructura cristalina y los carbonos y su forma es esférica.

c) Boartz

Formado por cristales orientados en varios sentidos, constituyendo masas esféricas erizadas con picos y facetas. No tienen crucero y son extremadamente duros y resistentes.

La producción mundial de diamantes industriales (7) está dado por:

- Africa ..... 94.0 %
- América (incluyendo diamantes sintéticos) 4.5 %
- Sud América, India y Australia ..... 1.5 %

La elección de escoger los diamantes para engastar las coronas, viene justificada por su dureza en la escala de Mohs, siendo los más duros los boartz y los menos duros los carbonos.

La unidad de peso de los diamantes es el quilate:

1 quilate = 0.2 grms.

4.4.6.2 Selección de coronas diamantinas

La selección de coronas diamantinas para diferentes formaciones geológicas está de acuerdo a las siguientes características:

- Tamaños de los diamantes
- Vías de agua
- Dureza de la matriz y
- Forma de la corona.

A continuación se describe cada una de ellas:

a) Tamaño de los diamantes

El tamaño de los diamantes, está dado por el número de piedras por quilate.

Se denominan "coronas de inserción" aquellas cuyo tamaño varían de 10 a 80 piedras por quilate y se denomina "corona de concreción" aquellas cuyo tamaño varía de 80 a 1000 piedras por quilate.

El tamaño de diamantes no se ha standarizado, variando estos de acuerdo a los fabricantes, siendo en nuestro medio los más importantes: Craelius, Boyles Bros y Long Year.

a.1) Craelius

Clasifica sus coronas como sigue:

Diaborit.- Coronas impregnadas con diamantes que varían de 250-30 piedras por quilate.

Diamy.- Coronas engastadas a la matriz, donde las piedras varían de 10-30, 40-60 y 70-100 diamantes por quilate.

Diabor.- Corona engastada, donde el tamaño de la piedra es de 1/8 de quilate.

a.2) Boyles Bros

Clasifica sus coronas como sigue:

- 25 diamantes por quilate para formaciones suaves.

- 40 diamantes por quilate, para formaciones de dureza media y terrenos fracturados.
- 60 diamantes por quilate, para formaciones duras y compactas.
- Coronas impreganadas, diamantes de 30-250 piedras por quilate y se usan en formaciones muy descompuestas y con grandes cambios. Estas coronas deben utilizarse hasta terminar el diamante impregnado, dado que las piedras no son recuperables.

a.3) Long Year

Clasifica las coronas como se indica a continuación:

- Diamantes tamaño grande; 6 a 15 piedras por quilate.
- Diamantes de tamaño medio; 15 a 40 piedras por quilate.
- Diamantes de tamaño medio a pequeño; 25 a 40 piedras por quilate.
- Diamantes de tamaño pequeño; 40 a 60 piedras por quilate.

b) Vías de agua

La máxima capacidad de corte, se obtiene con el buen uso de las vías de agua (figura IV-6).

Las vías de agua pueden ser:

b.1) Vías de agua de descarga frontal

Empleados cuando la recuperación de testigos es díficil de obtener y es ideal para forma-

ciones blandas ya que los orificios de agua de descarga frontal, protegen los testigos blandos de la acción erosiva contra la muestra, ocasionado por el líquido usado en la perforación.

Los costos de montaje y pérdidas de diamantes son generalmente mayores en coronas con vías de agua de descarga frontal, pero es compensado por la mayor recuperación de testigos.

b.2) Vías múltiples laterales

Proveen amplia circulación del fluído y deben utilizarse en roca dura y compacta. El número de vías de agua está determinado por la tendencia de acumulación de detritos que se adhieren a la corona y su disposición es asimétrica para reducir las vibraciones.

c) Dureza de la matriz

La matriz está compuesta por una aleación conformada por polvo de carburo de wolframio con pequeñas cantidades de otros metales.

La dureza de la matriz se dá en unidades Rocwell C-150 (27), clasificándose en:

- Matriz blanda normal: de 20 a 30 Rc.
- Matriz dura: de 30 a 40 Rc.
- Matriz extradura: de 40 a 50 Rc.

Para formaciones duras compactas y no abrasivas se deben emplear matrices normales.

La matriz dura debe emplearse en rocas descompuestas, granulosas o que han sido silicificadas.

Los granitos alterados, cuarcitas fracturadas, cuarzo, etc. desgastan las matrices de las coronas con mucha facilidad, por lo cual se deben utilizar en estos casos matrices extraduras.

d) Forma de la corona

Las formas de las coronas diamantinas, pueden ser: escalonadas o convencionales. Las escalonadas reducen la vibración durante la perforación y son adecuadas para formaciones blandas en la que la perforación avanza rapidamente. Las coronas de forma convencional, son de uso general y adecuadas a formaciones duras y/o fracturadas.

4.4.6.3 Escariadores (Reaming Shell)

La función principal de los escariadores (figura IV-6), es mantener el diámetro exterior del sondaje, protegiendo la matriz y los diamantes de las coronas diamantinas, evitando que los detritos traven ésta, logrando asímismo, evitar las vibraciones que afectan a los tubos muestreadores. La parte superior de este elemento tiene una unión al portatestigos y la parte inferior presenta una unión a la corona diamantina.

Es de mucha importancia incluir en el presente trabajo el Cuadro IV-4, que propone la Gerencia de Inspección y Verificación de Construcción de Petróleos Mexicanos, como un complemento para la selección de coronas diamantinas.

CUADRO N°IV-4

SELECCION DE CORONAS DIAMANTINAS
(Fuente: Petroleos Méxicanos)

		ROCA	Marga	Caliza	Dolomia	Pizarra	Esquisto	Mica-esquisto	Arenisca Calcárea	Arenisca Cuarcíti	Mármol	Gneis	Gneis	Cuarcita	Cuarcita	Granito
PETROGRAFIA	Dureza	Blanda	o													
		Media dura		o		o			o		o					
		Dura			o		o	o								
		Muy dura								o		o	o			o
		Extremadamente dura												o	o	
	Abrasividad	No abrasiva	o	o							o			o		
		Moderadamente abrasiva			o	o			o							
		Abrasiva					o	o		o						
		Muy abrasiva										o	o		o	o
	Estructura	Grano basto	o													
		Grano grande									o					
		Grano medio							o			o			o	o
		Grano fino				o				o			o	o		
		Benso/sólido		o	o		o	o								
Recomendaciones para Diamantes y Matrices	Calidad Diamante	Extra								Δ		Δ	Δ		Δ	Δ
		Primera			Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		Δ			Δ		
		Segunda	Δ	Δ												
	Tamaño piedra (piedra/quilate)	10 - 15	x	x							x					
		15 - 20		x		x			x							
		20 - 30			x		x	x	x	x	x	x		x		
		30 - 40								x		x	x		x	x
		40 - 60											x	x	x	x
	Matriz	Normal	+	+	+	+					+					
		Dura					+	+	+					+		
		Extradura								+		+	+		+	+

4.4.7 Tubos portatestigos o muestreadores (Core Barrels)

La función principal de las perforaciones diamantinas, es lograr una buena testificación en el sondaje, la cual se logra mediante el buen empleo de los tubos muestreadores o portatestigos (Core Barrels). Su principio se fundamenta en que la corona diamantina, al cortar un cilindro de roca (testigo) ésta se fija en el portatestigo, obteniendo así el avance del elemento cortante, permitiendo así sacar la muestra a la superficie una vez que se ha completado su carrera.

Existen en el mercado una gran variedad de diseños de tubos muestreadores, siendo los más empleados en nuestro país, los muestreadores de tubo simple, doble tubo giratorio y doble tubo giratorio - Wire Line.

4.4.7.1 Portatestigos de tubo simple y doble tubo giratorio

El portatestigos de tubo simple, comprende los siguientes elementos: la corona diamantina, el escariador (Reaming Shell), el sujetador de testigos (Core Lifter), el tubo muestreador y los acoplamientos para la conexión con el varillaje de perforación, como se puede apreciar en la figura IV-7.

Al entrar el testigo dentro del muestreador, éste abre el anillo del Core Lifter y pasa facilmente, de tal manera que cuando se levante el conjunto, el anillo solidario con el testigo, desciende y se adhiere a los soportes cónicos del sujetador de testigos, quedando así éste acuñado para luego posteriormente izarlo hacia la superficie.

Este diseño expone el testigo a la erosión causada por el líquido empleado en la perforación en toda su longitud, por lo que, solamente este portatestigos debe emplearse en formaciones sólidas y homogéneas y no en formaciones blandas por la baja recuperación de muestras como consecuencia de lo anteriormente mencionado.

El portatestigos de doble tubo giratorio, consiste en un tubo exterior acoplado a la corona diamantina y al escariador. Dentro del tubo exterior se localiza un tubo interior, en el cual se encuentra suspendido por un cojinete de bolas. (ver figura IV-7)

El varillaje transmite la rotación al tubo exterior, escariador y corona diamantina. El testigo cortado por la corona penetra al tubo interior, el cual permanece estacionario por el cojinete de bolas, de tal manera que el testigo tiene un mínimo esfuerzo de torsión y rozamiento, lográndose así una buena recuperación.

La inyección de agua a presión que llega a través del varillaje, pasa por el tubo exterior e interior, retornando al mismo tiempo a través de las vías de agua fuera del portatestigos. De esta forma el testigo está protegido de la acción del agua inyectada.

4.4.7.2 Portatestigos de doble tubo giratorio - Wire Line

El empleo de este equipo asegura un mayor avance de las perforaciones, ya que este sistema permite la extracción de testigos mediante el empleo de cables,

sin tener que recurrir sacar a la superficie el varillaje, ni los elementos cortantes en toda la longitud del pozo como lo requieren los muestreadores de tubo simple o doble. Cuando la perforación se encuentra a gran profundidad, el sistema Wire Line permite ahorrar considerablemente tiempo y esfuerzo, comparado con los otros sistemas convencionales de portatestigos.

El equipamiento del portatestigos de doble tubo giratorio Wire Line, consiste en: varillaje especial de perforación, el cual tiene un diámetro exterior aproximado al diámetro del sondaje; al final del fondo del varillaje se encuentra acoplada la corona diamantina y el escariador. Dentro del tubo exterior, se localiza un tubo interior con un mecanismo de cierre.

El fondo del varillaje tiene la función de un portatestigos de doble tubo. Los diámetros interiores del varillaje y sus acoplamientos, son lo suficientemente grandes, que permiten el paso del tubo interior. (figura IV-8a)

Este equipo, sin embargo, requiere por separado una polea acoplada a la máquina de perforación y de un elemento de pesca del tubo interior denominado "Pescador" (Overshot Assembly). (figura IV-8b)

Cuando se completa una corrida, el "Pescador" es bajado mediante el uso del cable de la polea dentro del varillaje, hasta lograr que la grampa elevadora, llegue a coger la cabeza del arpón de pesca, localizada en la parte superior del muestreador interior.

Una vez engrampados los elementos anteriormente descritos, se levanta el cable, ocasionando que el cerrojo del portatestigos interior se suelte y el tubo interior pueda ser elevado hacia la superficie. Ya en la superficie, se extrae el testigo, para luego ejecutar nuevamente otra maniobra similar bajando con el cable el tubo interior, para volver a empezar otra corrida.

4.5 Testificación continua de rocas

El objetivo principal de los sondajes diamantinos en investigaciones geotécnicas, es la recuperación contínua de testigos (muestras) de todos los materiales que se atraviesan durante las labores de perforación en toda la longitud del sondaje, permitiendo así, apreciar en forma visual todo el terreno atravezado.

La obtensión de muestras de roca o suelos duros en forma de testigos cilíndricos, se ejecuta de la siguiente manera:

- La corona diamantina perfora un orificio circular en la roca.
- El tubo portatestigos se desliza gradualmente hacia abajo en el orificio.
- El testigo encerrado en el portatestigos, se separa del resto de la masa rocosa.
- El tubo portatestigos, se iza a la superficie del terreno.

La buena testificación depende sobre todo de la pericia del perforista y del tipo de portatestigos que se emplee, dado que se presentan dificultades debido a las condiciones geológicas de los materiales atravezados. Las dificultades de testificación que frecuentemente se presentan en la práctica, son generalmente las siguientes:

- Cuando se atraviesa de una capa blanda a una dura, la corona diamantina no reposa igualmente sobre toda la superficie; concentrándose la presión de la corona sobre la capa dura y a menudo sobre unos diamantes con el consiguiente peligro que se deteriore el testigo, pasando el resto de los diamante de la corona por esta posición crítica debido a la rotación de la corona.
- Cuando los fragmentos del testigo presentan longitudes menores que el diámetro interior del portatestigos, los testigos se acuñan en la corona y quedan a ella sujetos por la presión del agua, actuando la corona de tal forma como si fuera maciza, desgastando el testigo que se cortaría a continuación.
- En terrenos fisurados o de buzamiento variable, la muestra puede disgregarse en pedazos muy pequeños, trayendo como consecuencia, recuperaciones muy bajas.

Cuando mayor sea el testigo, existirá más precisión en las observaciones geológicas sobre diaclasas y fracturas, asímismo será menor la pérdida de testigo en rocas fracturadas. Debe evitarse emplear diámetros pequeños en zonas fracturadas extensas porque muchas fracturas muy separadas entre sí, pueden no cortarse y así dar una información falsa de testificación.

Es recomendable para el diseño de un sondaje, sobre todo si éste es demasiado profundo, reducir de diámetro a medida que se profundiza éste, debido al excesivo peso del varillaje. A esta reducción de diámetro comunmente se le conoce en la práctica como "cambio de línea".

El cambio de línea facilita el manejo de revestimientos, cuando el sondeo debe llevarse a gran profundidad a cause de una roca muy fracturada, recuperándose estos testigos posteriormente mediante la inyección de cemento.

4.5.1 Indice de calidad de las rocas (R.Q.D.)

El indice de calidad de las rocas o Rock Quality Designation (R.Q.D.), es una cuantificación de la calidad de la roca de un determinado emplazamiento "in situ" a partir del porcentaje de fracturas y el grado de alteración de ésta.

El R.Q.D.; se basa en la recuperación modificada de testigos extraídos del sondaje, como medida indirecta del número de fracturas.

El R.Q.D. esta dado por la siguiente relación:

$$R.Q.D = \frac{\text{Suma de longitudes de cores mayores o iguales de 10 cm.}}{\text{Longitud total de la corrida}} \times 100 \quad [2]$$

Denominándose "core" a cada fragmento de testigo en estado sano y compacto; y "corrida" al intervalo perforado una vez que se ha llenado de muestras el tubo portatestigos.

Deere D.U. (27), ha encontrado una buena correlación entre los valores numéricos del R.Q.D. y la calidad general de la roca para efectos prácticos de ingeniería. Esta correlación se muestra en el Cuadro IV-5.

CUADRO N°IV-5

RELACION ENTRE EL R.Q.D. Y LA CALIDAD DE LA ROCA

R.Q.D.(%)	CALIDAD
0 - 25	MM: Muy mala o muy pobre
25 - 50	M: Mala o pobre
50 - 75	R: Regular o aceptable
75 - 90	B: Buena
90 - 100	E: Excelente

4.5.2 Porcentaje de recuperación

El porcentaje de recuperación, es la relación que existe entre la longitud total del testigo extraído y la - longitud total perforada en una corrida, expresado en porcentaje.

$$\text{Porcentaje de recuperación} = \frac{\text{longitud del testigo perforado}}{\text{Longitud de la corrida}} \times 100 \quad [3]$$

El porcentaje de recuperación es también otra medida indirecta de expresar la calidad de la roca mediante la - relación que propone Maksimou A. (15) que se muestra en el Cuadro IV-6.

CUADRO N°IV-6

RELACION ENTRE EL PORCENTAJE DE RECUPERACION Y LA CALIDAD DE LA ROCA

Porcentaje de Recuperación	Calidad
80 - 100	Buena
50 - 80	Regular
menor que 50	Mala

El R.Q.D. es un índice más sensible y consistente que - el porcentaje de recuperación total para definir la calidad de la roca "in situ" y es más utilizado en la ingeniería práctica, sobre todo en diseños de cortinas impermeables de presas.

4.5.3 Almacenamiento de los testigos

El manejo de los testigos, exige especial cuidado dado que es el producto final de la perforación, por lo que su almacenamiento y transporte, debe ser extremadamente cuidadoso.

Los testigos se deben guardar en cajas de madera (Fig. IV-9), los cuales presentan divisiones de acondicionamiento de acuerdo al diámetro del sondaje.

Los testigos obtenidos del sondaje, se van colocando en las cajas en el orden que se extraen del sondeo. Entre los testigos obtenidos en cada corrida se intercala un taco de madera, en el cual se debe indicar la profundidad alcanzada, asímismo es aconsejable colocar el porcentaje de recuperación a los costados, entre los tacos de madera mencionados.

Cuando se tomen muestras de los testigos para analizarse en laboratorios, se debe colocar un taco de madera indicándose en este el número y los intervalos de profundidad de muestreo.

Cada caja debe ser numerada indicándose el número de perforación, número de caja e intervalo de perforación.

El marcado de estas cajas debe ser con pintura resistente a condiciones climáticas y al agua y debe ser realizado en la misma plataforma de perforación; de igual manera, es conveniente tomar fotografías a color de los testigos de toda la longitud de la perforación.

Una vez cerradas con tapas de madera las cajas con los testigos estos se deben transportar en forma cuidadosa, evitándose golpes que puedan afectar la extructura de los mismos.

Se debe acondicionar un lugar adecuado para su almacenaje en forma ordenada (Archivo), desde el inicio de la perforación, no mezclando nunca las cajas de un sondaje con otro, de tal forma que permita que cuando un Especialista requiera observar toda la longitud del sondaje, lo pueda realizar sin correr riesgos de error, ya que la acción del tiempo deteriora las cajas o la pintura de éstas.

4.6 Registros de los sondajes diamantinos

Para llevar un adecuado control durante la ejecución de las labores de perforación del sondaje diamantino, y además poder presentar los resultados obtenidos, se han diseñado formatos de fácil uso con la finalidad de mostrar la máxima información del sondaje.

Estos formatos que se proponen y se adjuntan son:
- Partes diarios de perforación, y
- Registro del sondeo.

A continuación se describe brevemente cada uno de ellos.

4.6.1 Partes de perforación

Durante la ejecución del sondeo es importante llevar el control diario de todos los eventos que se presenten en la perforación, asímismo de las características del sondaje y el control de los testigos obtenidos. El parte diario de perforación propuesto (Formato IV-1), ha sido diseñado de tal forma que pueda ser utilizado como un cuaderno de obras empleadas en construcción cívil y debe ser llenado obligatoriamente durante la ejecución del sondaje, conteniendo este toda la información necesaria que se requiera para la construcción del Registo del Sondeo que se describe mas adelante.

4.6.2 Registros del sondeo

El Registro del Sondeo (Ver Anexo II), es la representación gráfica de las distintas formaciones del terreno del subsuelo que se encuentran en el sondaje, siguiendo una dirección en forma de perfil.

Siendo una presa, una construcción pesada que logicamente debe estar cimentada en roca firme, el recubrimiento de terrenos blandos e intemperizados, sobre ésta no se registra con gran detalle. La potencia y la descrición general puede ser suficiente en este caso indicándose si se conoce el origen geológico de este recubrimiento (Aluvial, deluvial, etc.).

En el formato de registro propuesto, se incluye la información general del sondaje, registro de la perforación y registro litológico; permitiendo así una visualización de las características tanto del mismo sondaje como la de los materiales atravesados desde el punto de vista geotécnico.

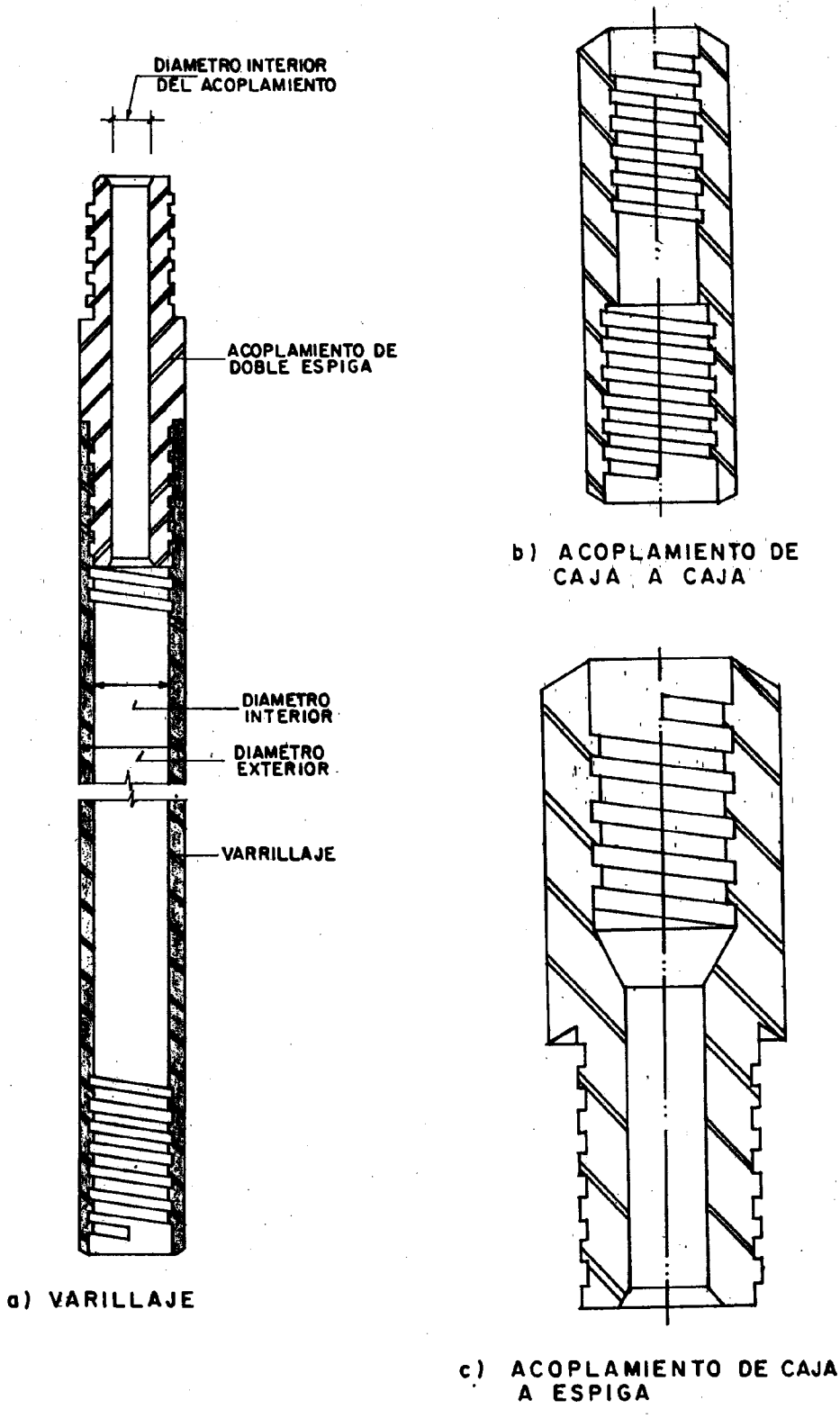


FIG. IV-2 - VARILLAJE DE PERFORACION Y SUS ACOPLAMIENTOS

Fuente: Long Year (14)

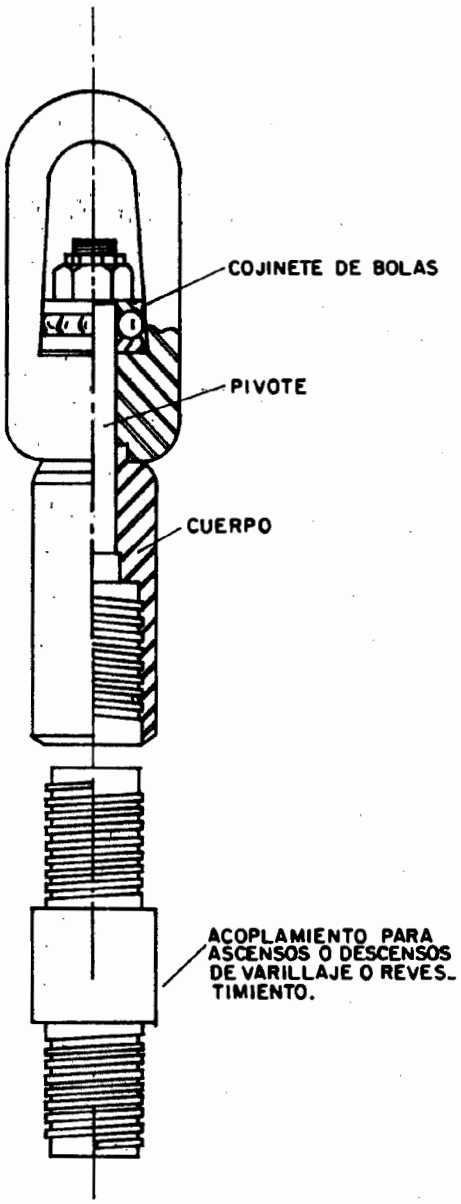
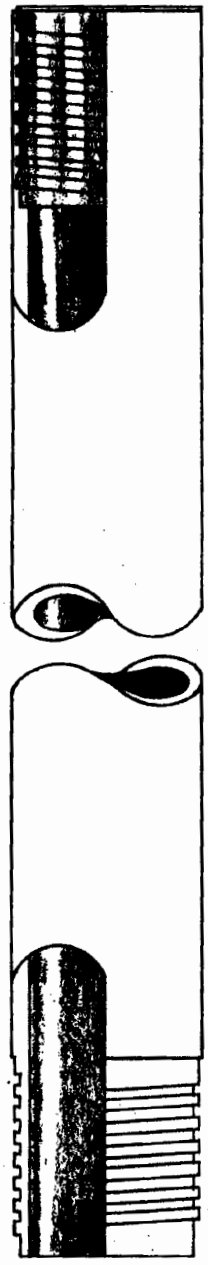
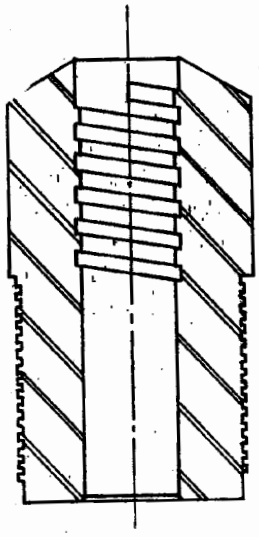


FIG. IV-3 - GRILLETE DE SUSPENCION

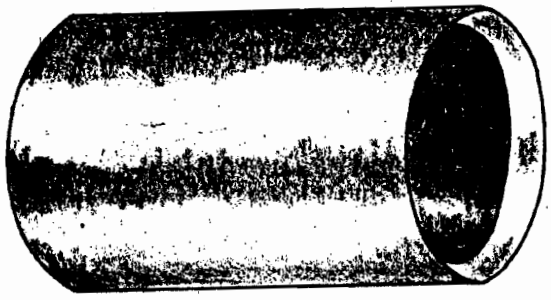
Fuente: Long Year (14)



REVESTIMIENTO



ACOPLAMIENTO DE VARILLAJE
A TUBERIA DE REVESTIMIENTO



ZAPATA

FIG. IV-4- TUBERIA DE REVESTIMIENTO (CASING), ACOPLAMIENTO Y ZAPATA

Fuente: Long Year (14).

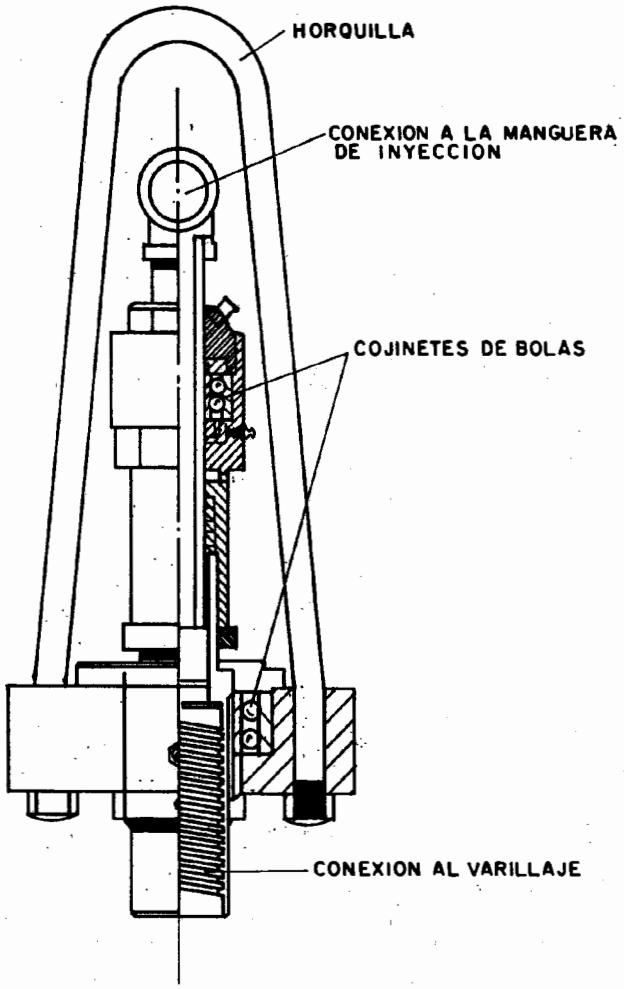
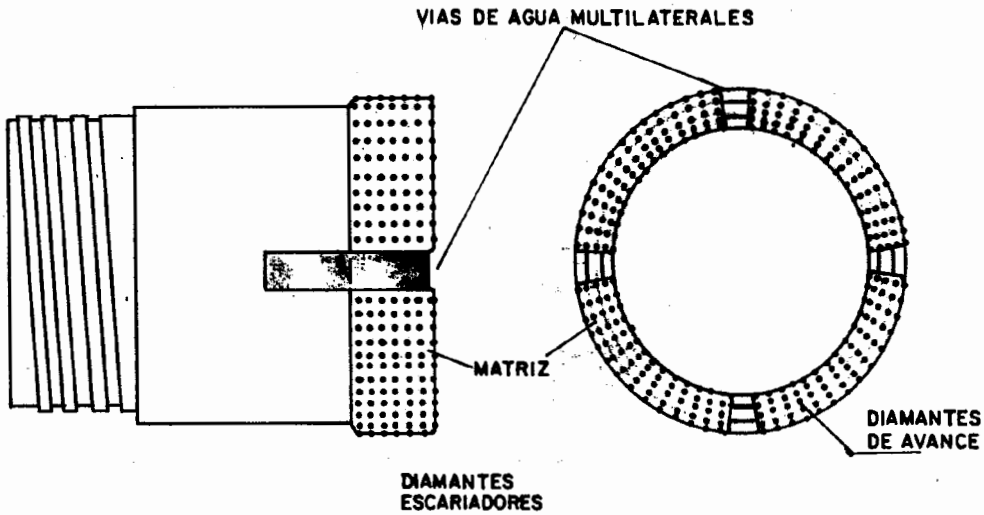
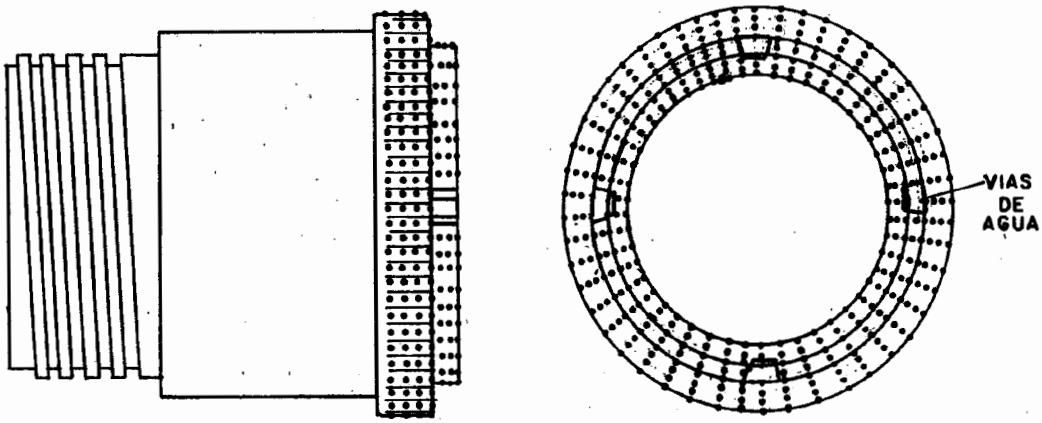


FIG. IV-5- CABEZAL DE INYECCION

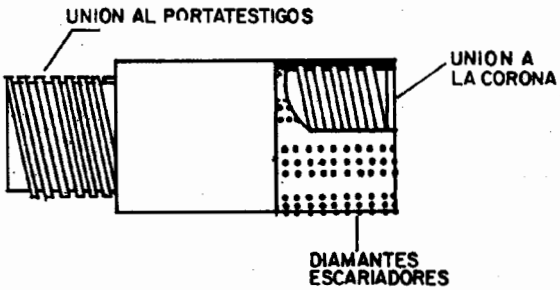
Fuente: Long Year (14).



CORONA DIAMANTINA CONVENCIONAL, CON VIAS DE AGUA MULTIPLES



CORONA DIAMANTINA ESCALONADA, CON VIAS DE AGUA DE DESCARGA FRONTAL



ESCARIADOR DE DIAMANTES

FIG. IV-6 - CORONAS DIAMANTINAS Y ESCARIADOR

Fuente: Boyles Bros (1).

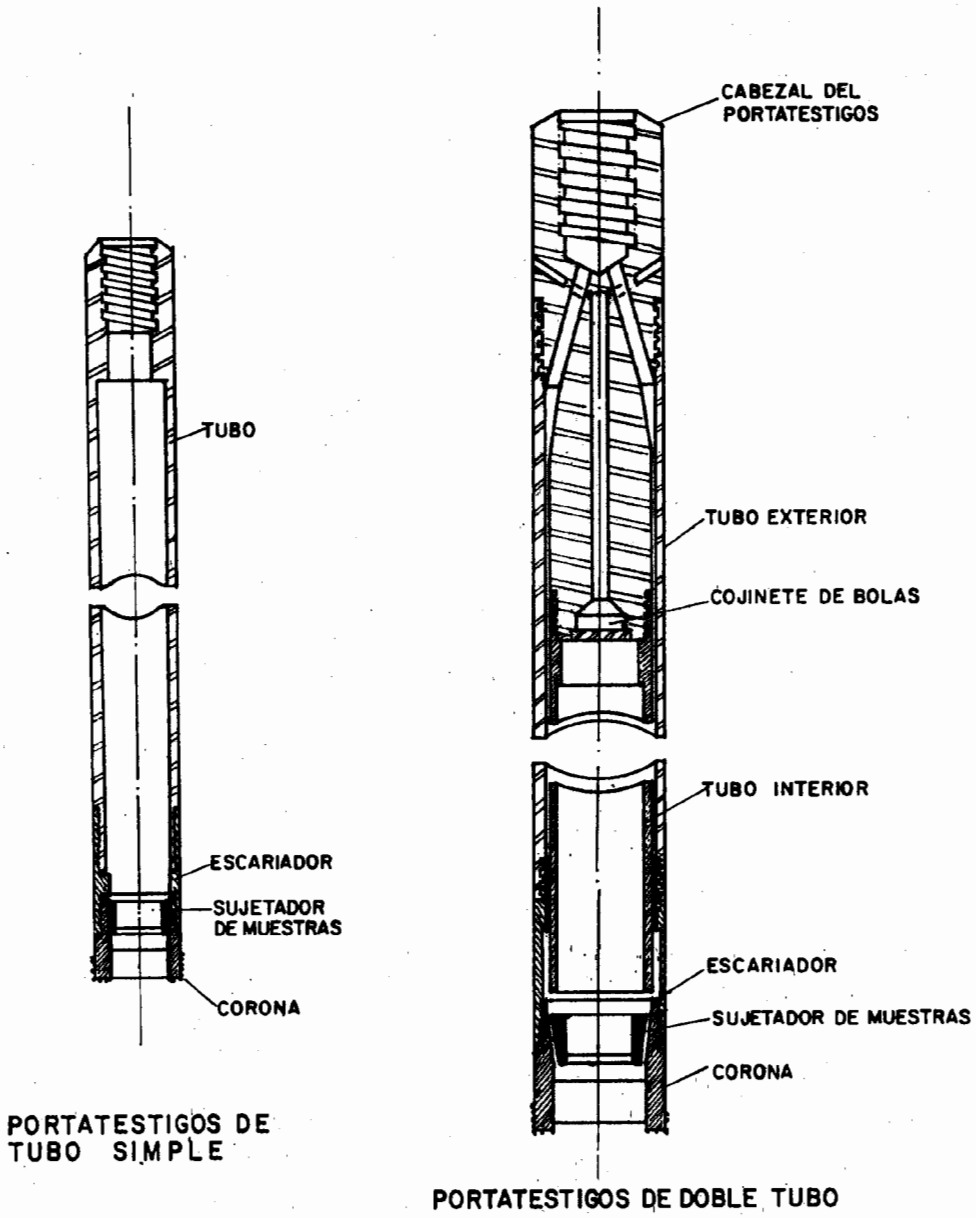
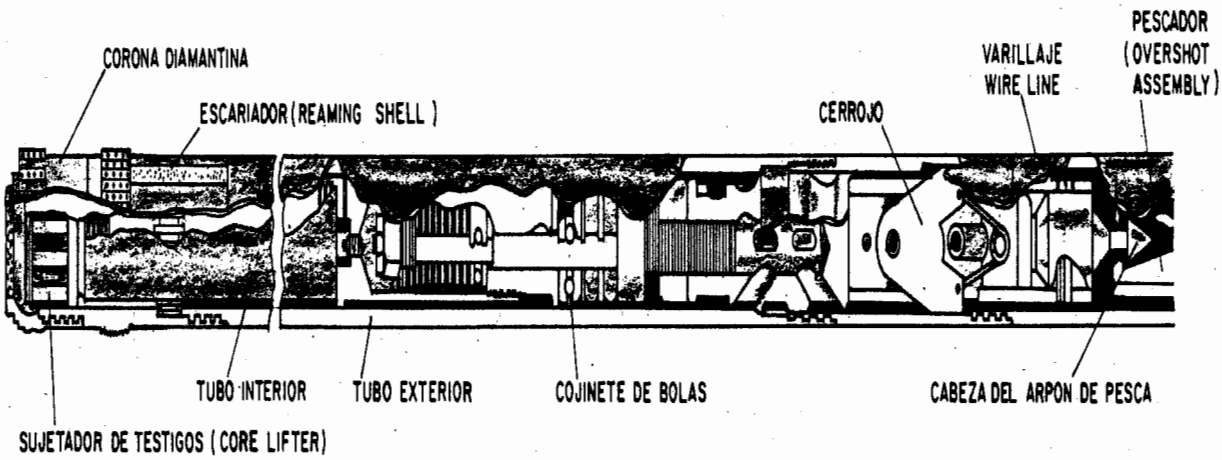


FIG. IV-7 - PORTATESTIGOS DE TUBO SIMPLE Y DOBLE

Fuente: Earth Manual U.S.B.R. (25)

PORTATESTIGOS DE DOBLE TUBO GIRATORIO WIRE LINE



"PESCADOR" (OVERSHOT ASSEMBLY)

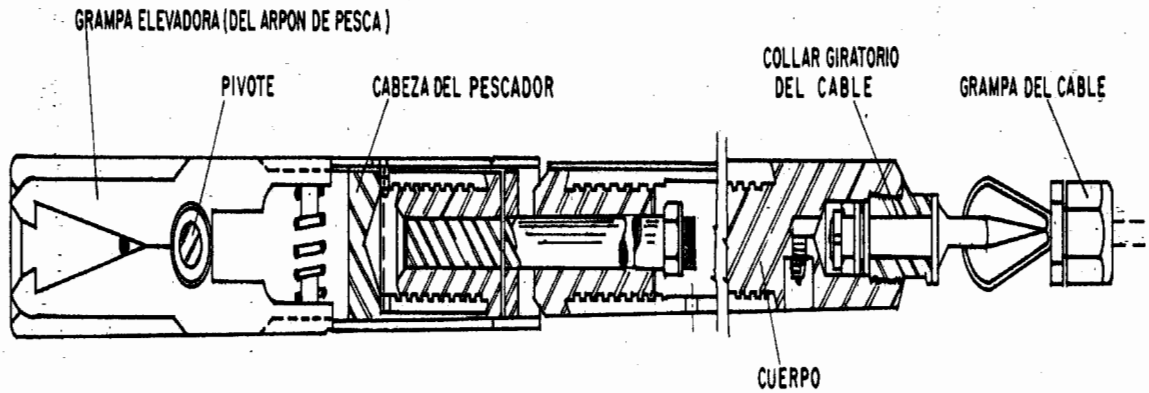
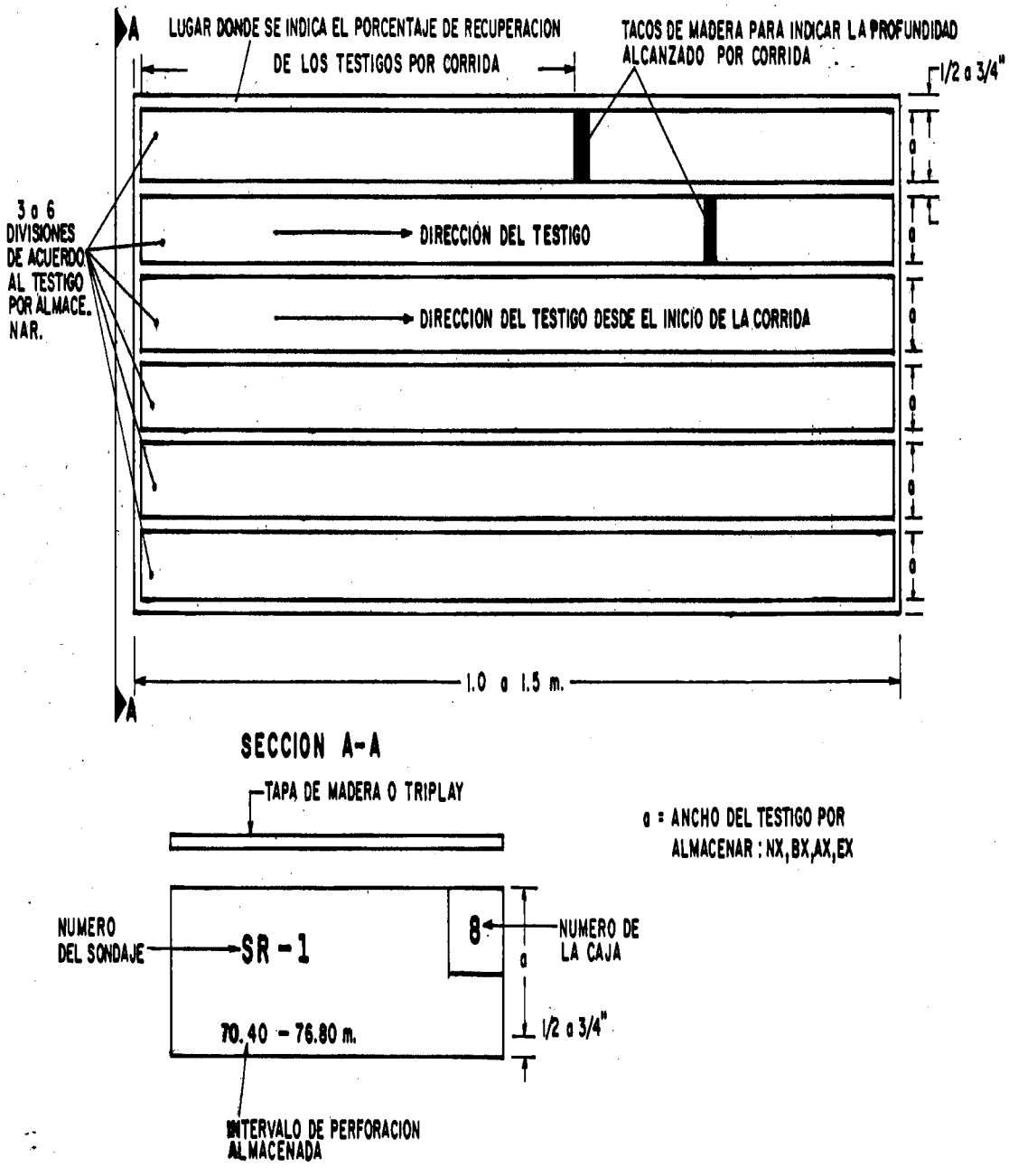


FIG. - IV-8 - PORTATESTIGOS DE DOBLE TUBO GIRATORIO Y PESCADOR (OVERSHOT ASSEMBLY) WIRE LINE. (Fuente: Long-Year).

FIG. IV-9 - CAJAS DE ALMACENAMIENTO DE TESTIGOS



Formato IV-1
PARTE DIARIO DE PERFORACION

INFORMACION GENERAL

Hoja Nº 3

Proyecto: OLMOS	Tipo de Perforación: DIAMANT.	SONDAJE Nº T-1
Obra: Presa Tabaconas	Ø Perforación: NX	Turno: I
Estación: Vertical	Operador: E. I. M	Fecha: 28/04/80

DESCRIPCION DE LA PERFORACION

a) Diámetro y tipo de tubería:	NQ (Wire Line)
b) Longitud de tubería al final del turno:	15.0 m
c) Sobrante de tubería al final del turno:	1.2 m
d) Profundidad al final del turno (b-c):	13.8 m
e) Profundidad al inicio del turno:	6.0 m
f) Longitud perforada (d-e):	9.0 m
g) Número de corridas:	6
h) Tipo de Casing:	NXC
i) Longitud total casing:	3.0 m
j) Profundidad del casing:	2.8 m
k) Derrumbes de: 0.2 a: 1.2 m	
l) Ensanche diámetro de: — a: —	
m) Long. cementado de: — a: —	
n) Cementación perforada de: — a: —	
o) Nivel del agua: Inicio: — Final: —	

TIEMPO EMPLEADO HORAS

Viajando	0.5
Instalando	0.5
Perforando	5.0
Reperforando	
Secar y colocar casing	
Mezclando	
Inyectando	
Cementando	
Ensanchando	
Prueba Permeabilidad	2.0
Pescando	
Reparación y/o mantenimiento	
Otros	
TOTAL	8.0

REGISTRO POR CORRIDA

Nº	Profundidad De	Profundidad A	Total	Cores > 10 cm Σ Long.	Cores > 10 cm Cantidad	% Recup. Testigos	Factor R.Q.D. (%)	Color de Agua	Cambio brusco de Color	Cambio brusco de gasto de agua
1	6.0	7.5	1.5	1.45	4	97	97	Marrón		
2	7.5	9.0	1.5	1.48	5	99	99	Marrón		
3	9.0	10.5	1.5	1.46	4	98	97	Marrón		
4	10.5	12.0	1.5	1.40	8	94	93	Marrón-beige	10.6-10.8m	10.5-11.2m
5	12.0	13.5	1.5	1.49	6	100	99	beige		
6	13.5	13.8	0.3	0.28	1	97	93	beige		

OBSERVACIONES

1.- La roca no presenta dificultades en todas las corridas de perforación, y se presenta muy sana

2.- Se realizo el ensayo de permeabilidad N: 4 de 9.2 a 13.8 m (Presión)

3.- A las 11:30 a.m. se hizo presente el supervisor, haciendo notar la falta de elementos de seguridad del personal.

Perforista — Ing. Responsable — El Supervisor

CAPITULO V

5. PERFORACIONES DIAMANTINAS EN EL SITIO DE PRESA LINDACHARA

CAPITULO V

5. PERFORACIONES DIAMANTINAS EN EL SITIO DE PRESA LINDACHARA

Se van a describir los rasgos geotécnicos,obtenidos de la testificación continua de rocas de los sondajes diamantinos,realizados en la alternativa de presa Lindachara, variantes ejes de Presa I y II del Proyecto Binacional Puyango - Tumbes.

5.1 Generalidades

La evaluación de la geología subterránea mediante sondajes diamantinos en la alternativa de Presa Lindachara, tuvo como principal objetivo verificar y confirmar las condiciones geotécnicas de los ejes de Presa establecidos anteriormente por la geoeléctrica y el estudio de la geología superficial.

Los sondajes diamantinos, fueron realizados por la firma AUDUN OLSEN - CONTRATISTAS, en la cual el autor del presente estudio, tuvo participación directa en el control y supervisión de los mismos, con la asesoría de los Especialistas del Consorcio Internacional PUYANGO - TUMBES.

La metodología de campo y gabinete empleados ha sido concordante con las especificaciones técnicas del Earth Manual del U.S. Bureau of Reclamation. (25)

5.2 Equipo empleado

a) Máquinas de perforación

- 1 sonda rotativa LONG YEAR-34 con todos sus accesorios y trípode, de 55 HP, de 4 velocidades, de avance hidráulico y motor DIESEL.
- 1 sonda rotativa ATLAS COPCO-TD-750 con todos sus accesorios y trípode, de 45 HP, de 4 velocidades, de avance hidráulico y motor DIESEL.

b) Bombas

- 1 bomba LONG YEAR 420 con todos sus accesorios, tipo triplex de desplazamiento positivo, de 4 velocidades y de capacidad de 60 gal/min., DIESEL.
- 2 bombas CRAELIUS: L-130 DG y L-75 DG con todos sus accesorios, tipo triplex de desplazamiento positivo, de 4 velocidades y capacidad de 40 gal/min., DIESEL.

c) Herramientas de perforación

- Varillaje de perforación de diferentes longitudes y diámetros.
- Tuberías de revestimiento de diferentes longitudes y diámetros.
- Acoplamientos y reducciones de varillaje y de tubería de revestimiento.
- 2 cabezales giratorios.
- 3 portatestigos doble tubo giratorio WIRE LINE, LONG YEAR de 1.5 m. de longitud; NQ y BQ.
- 2 portatestigos CRAELIUS de tubo simple, de 1.5 m. de longitud, NX y BX.
- 2 pescadores (OVERSHOT-ASSEMBLY).
- Coronas diamantinas BOYLES BROSS DE 40 y 60 piedras por quilate serie N y B, con 4 vías de agua de descarga frontal.

- Guardaroscas de tubos de revestimiento.
- Abrazaderas de tubos de revestimiento.
- Mangueras de presión.

d) Otros

- 4 cilindros para circulación de agua.
- Tubería galvanizada de 1 1/2".
- Llaves y accesorios (llaves Stillson, niples, uniones, etc.)

5.3 Instalación

Las maquinarias de perforación se emplazaron en plataformas ubicadas en los mismos puntos del terreno programado por el Consorsio Internacional Puyango-Tumbes. Estas plataformas de perforación tuvieron dimensiones adecuadas que permitieron realizar todas las maniobras operativas de trabajo dentro de las medidas de seguridad.

Para abastecer de agua a las perforaciones,fue necesario bombear agua desde la Quebrada Lindachara mediante la instalación de tubería galvanizada y cilindros que permitieron un abastecimiento efectivo a la perforación, siendo esta agua limpia y libre de sedimentos por los ensayos de permeabilidad realizados en forma simultánea con la perforación.

5.4 Testificación continua de las rocas

La testificación continua de rocas realizadas en los sondajes diamantinos del sitio de Presa Lindachara, fue mendiante el empleo de portatestigos de doble tubo giratorio WIRE LINE en toda la longitud de los sondajes.

Durante la ejecución de las labores de perforación, se realizó el control diario de los avances y el control de los testigos

por corrida, efectuándose en la misma plataforma del sondaje la descripción litológica y los cálculos del porcentaje de recuperación e índice de calidad de las rocas. El control diario se realizó utilizando los partes diarios de perforación, representándose posteriormente esta información en forma gráfica en los registros del sondeo, que se muestran en el Anexo II.

Los testigos obtenidos de los sondajes, se almacenaron en cajas de madera adecuadas, para conformar el archivo de las perforaciones.

Los partes diarios de perforación, registros del sondeo, cálculos de los porcentajes de recuperación e índice de calidad de las rocas, asímismo del diseño de las cajas de almacenaje se realizaron siguiendo los lineamientos indicados en el Capítulo IV del presente Estudio.

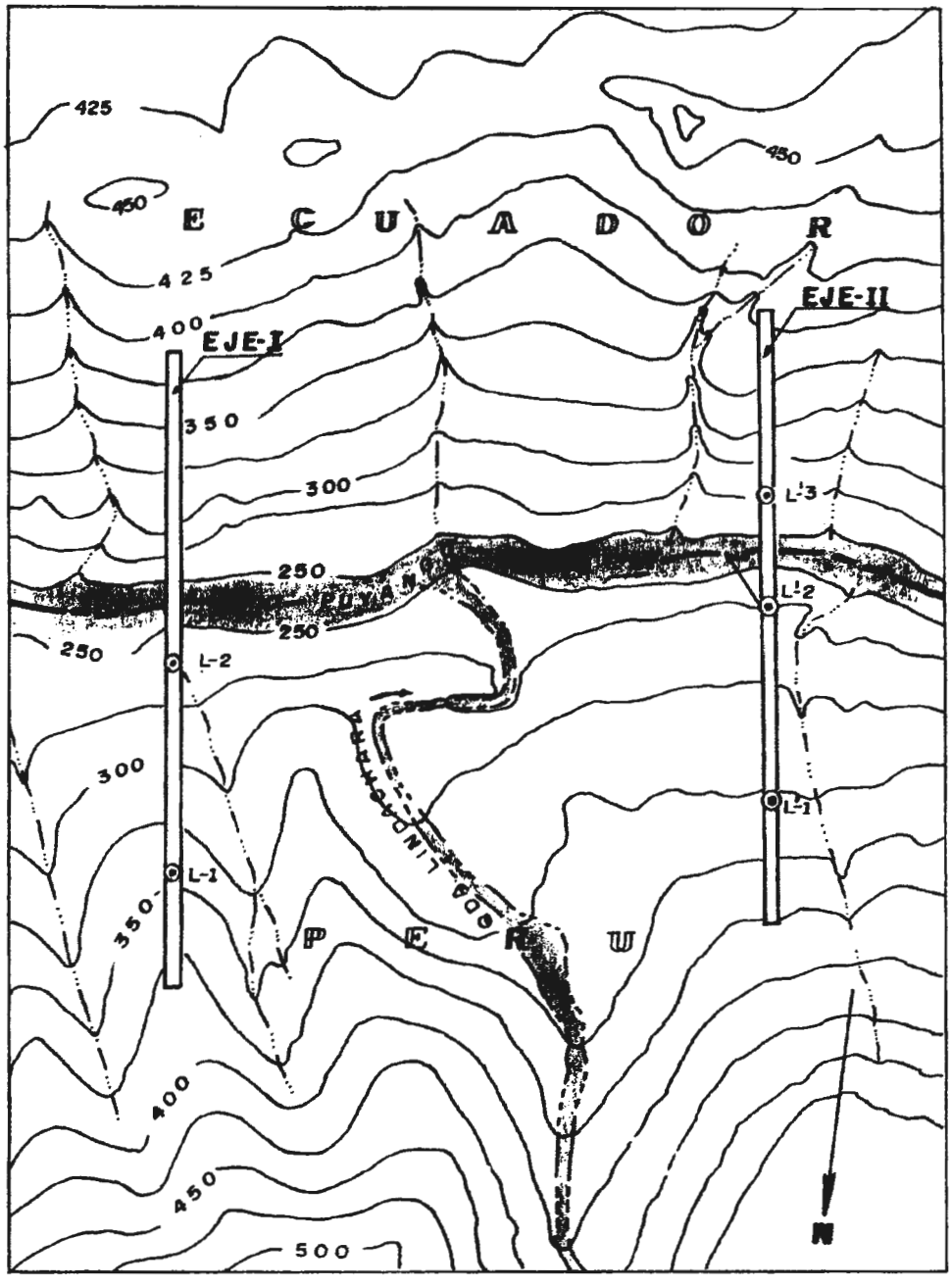
5.5 Resultados de la testificación continua en los sondajes diamantinos

Los resultados de la testificación continua de rocas obtenido en los sondajes diamantinos realizados en el sitio de Presa Lindachara, se muestran en los Registros del Sondeo en el Anexo II , donde se pueden apreciar visualmente las características, tanto del mismo sondaje como de los materiales atravesados por la perforación.

La ubicación de los sondajes se muestra en la Figura V-1 y en las Figuras III-1, III-2 y III-3 del Capítulo III.

5.5.1 Sondajes diamantinos en el Eje I

5.5.1.1 Sondaje L-1



Leyenda: ● L-2 Sondaje diamantino
Eje de presa
Limite Internacional

Escala: 1/5,000

Fig. V-1.-Ubicación de los sondajes diamantinos y ejes de presa en la Alternativa Lindachara.

Fuente: Proyecto Puyango-Tumbes (5).

Este sondaje se perforó en dirección vertical, en el estribo derecho alcanzando una profundidad de 102.75 m., con diámetro NX.

La representación gráfica de este sondaje se muestra en el Anexo II-1.

En la perforación se encontró inicialmente una capa de depósitos eluvio-deluviales de aproximadamente 4.50 m. de potencia. Debido a la fuerte alteración y descomposición de esta primera capa, fue necesario cementar los dos primeros metros.

Posteriormente debajo de la primera capa, la perforación atravesó lutitas de la formación Condor Flores (k-cf) hasta la profundidad de 86 m. en donde se se encontró el contacto con las areniscas calcáreas de la formación Lindachara (k-Lch), siguiendo esta última litología hasta la finalización del sondaje.

Hasta los 9 m. de profundidad las lutitas se presentan muy fracturadas y afectadas de una meteorización muy intensa, por lo que fue necesario entivar las paredes del sondaje con tubería de revestimiento hasta esta profundidad; a partir de la cual, se puede considerar que comienza la roca sana (roca afectada en menor grado por el intemperismo que la capa que la superpone). Los porcentajes de recuperación y el R.Q.D. encontrado, presentan calidades de roca muy malas.

La roca fresca (roca no afectada por el meteorismo), se encontró a los 22 m. de profundidad, predominando índices de calidad de las rocas del orden 77 al 95% ó sea rocas de calidad buena a excelente y porcentajes de recuperación de testigos promedio de 99%.

5.5.1.2 Sondaje L-2

Este sondaje se encuentra ubicado en el estribo derecho, aproximadamente 11 m. sobre el lecho del río Puyango-Tumbes. Se perforó con una inclinación de 19° hacia el río, alcanzando una profundidad de 85.35 m. con diámetro NX.

La representación gráfica de este sondaje se muestra en el Anexo II-2.

Al inicio de la perforación, se encontró material aluvial-deluvial los primeros 3 m. de profundidad, material que fue necesario entivar las paredes del sondaje con tubería de revestimiento hasta los 4 m.

De 3 a 11 m. de profundidad, el sondaje atraviesa areniscas de la formación Linchachara (k-Lch) presentándose a los 11 m., el contacto con lutitas de la formación Boliches (k-bo), continuando la misma litología hasta la finalización del sondaje.

La roca se encontró a los 7 m. y la roca fresca a los 10 m., presentándose generalmente las lutitas, rocas de calidad buena a regular y las areniscas, roca de calidad mala; y porcentajes de recuperación promedio del orden del 99%.

De acuerdo a las observaciones del nivel freático en este sondaje se puede afirmar que el río Puyango-Tumbes actua como un dren natural.

5.5.2 Sondajes diamantinos en el Eje II

5.5.2.1 Sondaje L'1

Este sondaje esta ubicado en el estribo derecho, y se perforó en dirección vertical con diámetro NX, alcanzando una profundidad de 90.55 m.

Los rasgos geotécnicos de este sondaje como se puede apreciar en el Anexo II-3, son los siguientes:

Los primeros 3 m. de profundidad estan conformados por material eluvial-deluvial, luego le sigue una zona de lutitas alteradas y descompuestas hasta los 8 m. considerándose esta profundidad como el limite superior de la roca sana, continuando con la misma litología hasta los 80 m. de profundidad donde se encuentra el contacto con las areniscas calcáreas, continuando está última litología, hasta finalizar el sondaje. Las lutitas atravesadas, son de la formación Condor Flores (k-cf) y las areniscas, de la formación Lindachara (k-Lch).

La roca fresca se encontró a los 17 m. de profundidad a partir de la cual, la calidad de la roca generalmente es de buena a excelente y el porcentaje de recuperación es del orden del 100%.

Al inicio de la perforación, fué necesario cementar el sondaje por la gran alteración y meteorisación que presentaban los primeros 7 m. y posteriormente se tuvo que colocar tubería de revestimiento hasta los 8 m. de profundidad.

5.5.2.2 Sondaje L'-2

Este sondaje se perforó con una inclinación de 18° en dirección al río Puyango-Tumbes, alcanzando una pro-

fundidad de 110.14 m. y diámetro NX y está ubicado en el estribo derecho, aproximadamente 30 m. sobre el lecho del río.

En el Anexo II-4, se puede observar que la perforación atravesó areniscas de la formación Lindachara hasta los 53 m. Entre los 53 y 59 m. de profundidad se presentó una transición gradacional al contacto de las lutitas de la formación Boliches (k-bo), a partir de la cual, las lutitas continuaron hasta el fondo del sondaje.

Los primeros 4 m. de profundidad, la arenisca se presenta muy fracturada como consecuencia del intemperismo, observándose la roca sana a esta profundidad y la roca fresca a partir de los 13 m. de profundidad.

Las areniscas y lutitas encontradas en el sondaje, muestran calidad de rocas que varían generalmente de buena a excelente y porcentajes de recuperación promedio cercanas al 100%.

Correlacionando el nivel freático encontrado en el sondaje con el nivel del río Puyango-Tumbes, se encontró que el río es afluente de las aguas subterráneas, actuando este río como un dren natural.

5.5.2.3 Sondaje L'-3

Sondaje perforado en el estribo izquierdo y en dirección vertical, alcanzando una profundidad de 65.15 m. y con diámetro NX.

Los materiales encontrados en este sondaje se muestran en el Anexo II-5 y son los siguientes:

Los primeros 1.5 m. se encontró una capa de material eluvial-deluvial, luego sigue una zona de areniscas de la formación Lindachara (k-Lch) hasta los 42 m., continuando una zona de contactos alternados de areniscas y lutitas de la formación boliches hasta los 52 m.; continuando a partir de esta profundidad, areniscas calcáreas hasta la profundidad final del sondaje.

La roca sana se encuentra aproximadamente a los 3 m. de profundidad y la roca fresca a partir de los 12 m. en los estratos de areniscas calcáreas.

El porcentaje de recuperación promedio en todo el sondaje fue de 96% y la calidad de rocas fue variable de regular a excelente.

En los sondajes diamantinos realizados en los estribos y bases de los ejes de la Presa Lindachara, se han reconocido basicamente que están conformados por rocas sedimentarias del cretáceo:

- Areniscas de la formación Lindachara (k-Lch); areniscas de color gris de grano fino a medio, encontrándose con bastante frecuencia surcadas por venillas y venas de calcita con cierto paralelismo al eje del testigo.
- Lutitas de la formación Condor Flores (k-cf) y de la formación Boliches (k-bo); con venillas de calcita mas finas y con menor frecuencia que en las areniscas.

La correlación de la prospección geoeléctrica, con la información obtenida de la testificación continua rea

lizada en los sondajes, es aproximadamente concordante, comprobándose que el Eje II presenta menores potencias de material superficial suelto y descompuesto que el Eje I, tal como se puede apreciar en el Cuadro V-1

CUADRO N°V-1

CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS SONDAJES DIAMANTINOS REALIZADOS EN LA PRESA LINDA CHARA

EJE N°	N° SONDAJE	PROFUNDIDAD TOTAL	INCLINACION	PROFUNDIDAD EN METROS					
				Material eluvial-deluvial	Lutitas (1)	Areniscas (1)	Roca sana (2)	Roca fresca (3)	Material muy intemperizado
I	L-1	102.75	Vertical	0.0-4.5	4.5-86.0 (k-cf)	86.0-102.75 (k-Lch)	9.0-22.0	> 22.0	0-9.0
	L-2	85.35	Inclinado 19° con respecto a vertical	0.0-3.0	11.0-85.35 (k-bo)	3.0-11.00 (k-Lch)	7.0-10.0	> 10.0	0-7.0
II	L'-1	90.55	Vertical	0.0-3.0	3.0-80.0 (k-cf)	80.0-90.55 (k-Lch)	8.0-17.0	> 17.0	0-8.0
	L'-2	110.14	Inclinado 18° con respecto a vertical	No se encontró	59.0-110.14 (K-bo)	0.0-59.0 (k-Lch)	4.0-13.0	> 13.0	0-4.0
	L'-3	65.15	Vertical	0.0-1.5	42.0-52.0 Alternancia de estratos de areniscas y lutitas (k-bo)	1.5-42.0 52.0 - 65.15 (k-Lch)	3.0-12.0	> 12.0	0-3.0

(1) Lutitas : Formación Condor Flores (k-cf)
Formación Boliches (k-bo)

Areniscas: Formación Lindachara (k-Lch)

(2) Roca sana : Zona afectada en menor grado de meteorismo

(3) Roca fresca: Zona no afectada por meteorismo

CAPITULO VI

6. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN SONDAJES DIAMANTINOS

CAPITULO VI

6. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD EN SONDAJES DIAMANTINOS

Para llegar a comprender la forma de ejecución de los ensayos de permeabilidad que se pueden realizar en los sondajes diamantinos, ha sido necesario introducir en este trabajo, una rápida revisión de los métodos y cálculos de los parámetros hidrogeológicos que se obtienen mediante estos ensayos.

6.1 Generalidades

La apreciación "in situ" de la permeabilidad de la cimentación, es una de las tareas más importantes en las prospecciones geotécnicas que se ejecutan en ejes de presa.

Los ensayos de permeabilidad que se realizan en los sondajes diamantinos, dan resultados cuantitativos que no son perfectos, pero si son satisfactorios para las necesidades prácticas.

La facilidad con que fluye el agua a través de las fisuras, diaclasas o capas de arena fina casi imperceptibles que existen en la roca, corresponden a la permeabilidad "en grande" y solo puede ser medidas "in situ". Esta permeabilidad es muy diferente a la permeabilidad medida en un laboratorio sobre muestras inalteradas, dado que ésta última se basa en la facilidad que discurre el agua a través de los intersticios que conforman la estructura de los suelos (2), por lo tanto, la permeabilidad "en grande" precisa el estado de fisuración del terreno, la cual es materia del presente estudio. Los ensayos de permeabilidad que se ejecutan en los sondajes diamantinos a medida que se hacen estos, permiten llegar a estos resultados.

Los tipos de ensayos de permeabilidad o de agua, según la naturaleza del terreno y el método de perforación adoptados que se emplean son los siguientes:

- Pruebas de bombeo
- Pruebas de permeabilidad a presión
- Pruebas de permeabilidad por gravedad

Las ventajas y desventajas de estos tipos de ensayo se muestran en el Cuadro VI-1.

En sondajes diamantinos, los dos últimos tipos de ensayos son los que comunmente se utilizan en la práctica, por lo que en el presente trabajo nos ocuparemos solamente de ellos.

CUADRO N°VI-1

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS METODOS DE CAMPO DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN SONDAJES

TIPO DE PRUEBA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Pruebas de bombeo.	Representan el método básico de campo más exacto para determinar el coeficiente de permeabilidad.	Cuando el nivel freático es bastante profundo, asímismo cuando la permeabilidad de los suelos es considerable, se presentan dificultades técnicas para la ejecución de los bombeos.
Pruebas de permeabilidad por gravedad.	Permite determinar el valor del coeficiente de permeabilidad de los suelos granulares o roca muy fisurada, en particular cuando el nivel freático se encuentra bastante profundo, reemplazando en este caso a las pruebas de bombeo.	Durante los vertimientos de agua puede ocurrir la colmatación de las fisuras y poros de los suelos o rocas.
Pruebas de permeabilidad a presión.	Permite determinar el coeficiente de permeabilidad de las rocas tenaces por zonas, en aquellos casos cuando por una u otra causa técnica no se puede ejecutar las pruebas de bombeo.	Existe la posibilidad de la colmatación de fisuras y poros de la roca. A grandes presiones, no se descarta la posibilidad del surgimiento de un flujo turbulento que dificulte el empleo de los datos obtenidos para los cálculos de los parámetros hidrogeológicos.

6.2 Consideraciones teóricas

El principio de los ensayos de permeabilidad a presión y a gravedad es el mismo y consisten en inyectar agua en el sondaje, creándose en ambos casos una sobrepresión de la superficie piezométrica. Si al crear una sobrepresión "H", en la cavidad cilíndrica de radio "r" y de altura "l" igual a la potencia de la capa permeable y ésta se realiza sobre el nivel freático original, existirá analogía con una prueba de bombeo realizada en estas condiciones en toda la magnitud de la potencia de un acuífero confinado (Figura VI-1); por lo que el análisis matemático se basa en las asunciones de Dupuit-Thiem.

Si suponemos que el nivel freático inicial es complementamente horizontal, localizado éste a una profundidad hasta el fondo del sondaje (do); cuando se ejecute el bombeo, se creará un nivel dinámico a una profundidad hasta el fondo del pozo(d_1) con respecto al nivel freático; asímismo cuando se origine una sobrepresión constante a una altura d_2, originarán en el primer caso un abatimiento S y en el segundo caso una sobrepresión H, los cuales tienen como radio de influencia del cono de depresión y de la superficie reflejada del mismo una distancia R, desde la línea central del eje del sondaje, asumiendo en ambos casos que las líneas de corriente son horizontales.

A cualquier distancia "X" del pozo, el gasto "Q" constante que se bombea o se inyecte será:

$$Q = -2\pi x l K \frac{dy}{dx} \quad [4]$$

Siendo $2\pi x l$ el área lateral de la cavidad cilíndrica por el cual ocurre el escurrimiento, K el coeficiente de permeabilidad y dy/dx la gradiente de la superficie piezométrica.

La expresión [4], se puede poner en forma de la siguiente ecuación diferencial:

$$Q \frac{dx}{x} = -2 \pi K l \, dy$$

Que integrándola dentro de los límites en el caso de crearse la sobrepresión (ver Figura VI-1), se tendría:

$$Q \int_{r}^{R} \frac{dx}{x} = 2 \pi K l \int_{d_0}^{d_2} dy$$

de donde:

$$Q \, Ln \frac{R}{r} = 2 \quad K l \, (d_2 - d_0) \qquad [5]$$

Siendo $d_2 - d_0 = H$, la expresión anterior se simplificará:

$$Q \, Ln \frac{R}{r} = 2 \pi K l H$$

de donde despejando K, se obtiene:

$$K = \frac{Q}{2 \pi l H} \, Ln \frac{R}{r} \qquad [6]$$

La magnitud del radio de influencia causada por la sobrepresión constante, V.M. Babushkin (11) y el U.S.Bureau Reclamation (25) asumen que es aproximadamente igual a la longitud del intervalo ensayado, por lo que la expresión [6] se puede escribir:

$$K = \frac{Q}{2 \pi l H} \, Ln \frac{l}{r} \qquad [7]$$

6.3 Ensayos de permeabilidad a presión

Estos ensayos, se denominan también ensayos Lugéon (*) y como su nombre lo indica, consisten en inyectar a presión agua limpia dentro del sondaje diamantino al intervalo de prueba previamente delimitado por un obturador.

(*) 1 Lugéon es la cantidad de agua que se inyecta a un metro de sondaje, teniendo una carga hidráulica equivalente a una columna de agua de 100 m. de altura (10 Kg/cm^2).

Estas pruebas se realizan en roca fija, de baja o media permeabilidad, pero más o menos fisuradas, por lo que la profundidad del obturador debe ser prevista de acuerdo a la observación visual de la fisuración natural que se puede apreciar en los testigos obtedos del sondaje en la perforación.

6.3.1 Agua empleada en los ensayos

Para evitar obtener resultados erroneos durante la ejecución de los ensayos, se requiere utilizar agua limpia libre de sedimentos, los cuales pueden alterar las condiciones naturales de la permeabilidad del terreno en donde se está inyectando agua.

Durante las perforaciones diamantinas de prospección, en las cuales se van a realizar ensayos de permeabilidad, es prohibido el uso de lodos de perforación para estabilizar las paredes del sondaje por las razones anteriormente expuestas.

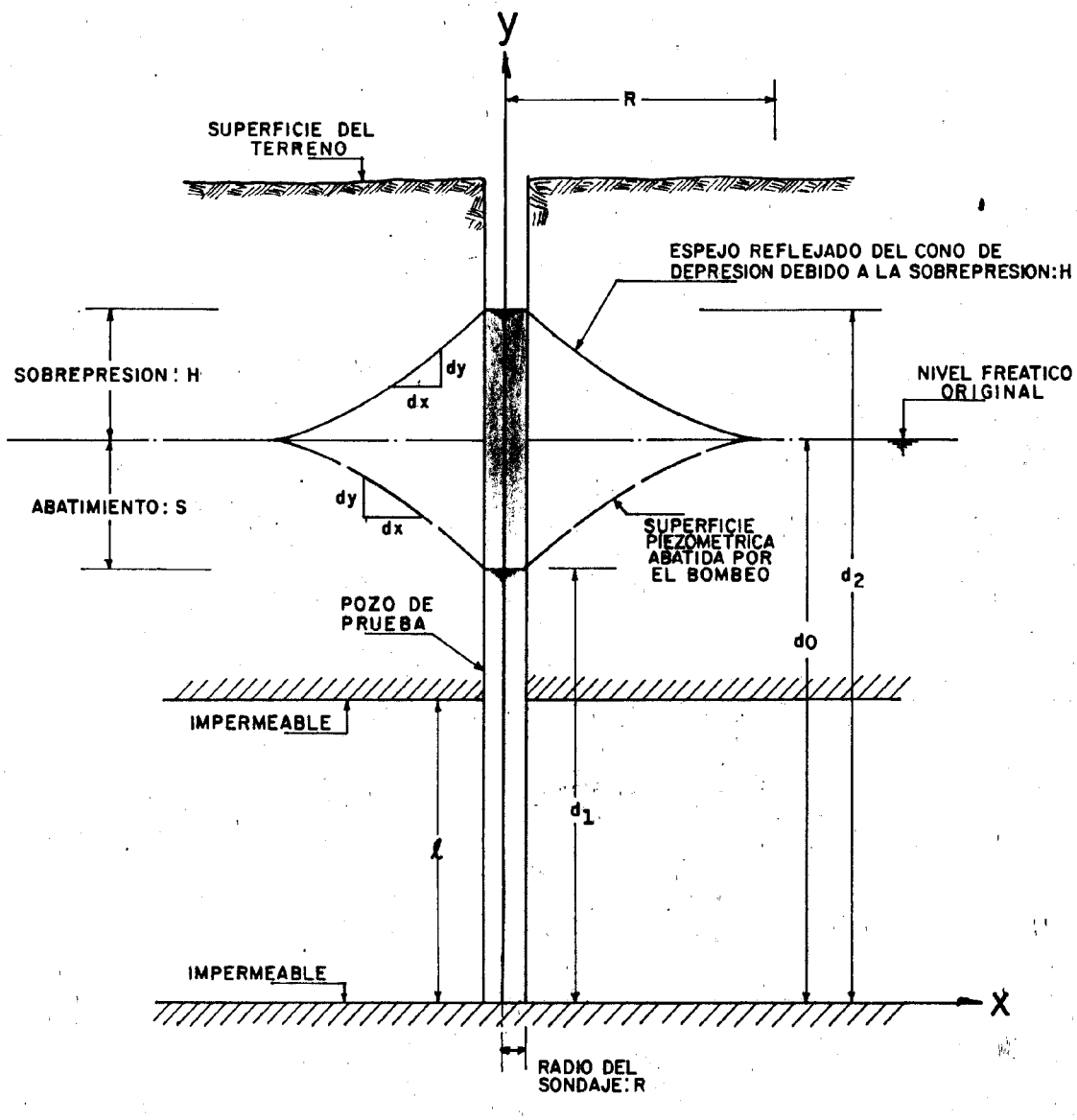
Por otro lado, cuando se determine la existencia de aguas subterráneas, la temperatura del agua inyectada debe ser mayor que la primera, para evitrar la formación de burbujas de aire en el terreno las cuales pueden reducir el volumen de agua que se va a inyectar (23).

6.3.2 Descripción del equipo requerido

6.3.2.1 Obturadores

Los obturadores son también denominados packers o tampones (Figura VI-2), y son elementos mecánicos que tienen el objetivo de aislar una o dos partes del sondaje (intervalo de prueba); permitiendo el paso de agua inyectada a la sección probada.

FIG. VI-1- FLUJO EN UNA CAVIDAD CILINDRICA CUYA ALTURA ES IGUAL AL ESPESOR DE LA CAPA PERMEABLE



Una vez instalados a la profundidad deseada, un dispositivo de apriete que puede ser mecánico, neumático (inflable) o con ayuda de la máquina de perforación, hace que las arandelas de caucho o de cuero embutido aumenten de diámetro, adhiriéndose hemeticamente así a las paredes del sondaje.

Los obturadores, pueden ser dobles o simples:

Los obturadores dobre (Figura VI-2b), llevan en la parte central una tubería perforada de una longitud máxima de 3m. que permite el flujo del agua inyectada. Los diámetros de los orificios de la tubería es de 1/4" y el área total de las perforaciones debe ser mayor que el área de la sección transversal del sondaje (23).

La expansión del obturador varía de acuerdo al fabricante y puede ser en forma mecánica o neumática (inflables con aire).

Los obturadores simples, disponen generalmente de un mecanismo de apriete mecánico (Fig. VI-2a), o en su defecto el dispositivo de apriete, utiliza el empuje hidráulico de la máquina de perforación, presentando en este último caso, en la parte inferior del obturador una tubería perforada (Fig. VI-2c).

6.3.2.2 Dispositivo de distribución de inyección

Este dispositivo debe ensamblarse con anterioridad a los ensayos, como se indica en la Fig. VI-3a. Su cuidado de almacenaje y transporte debe ser extremadamente cuidadoso, porque contiene los elementos de medición del caudal y de presión.

Este dispositivo consta de :

a) Medidor de agua con mecanismo de relojería

El U.S.Bureau of Reclamation (24), recomienda utilizar medidores tipo impulsor de 1 a 4" de 50 a 350 g.p.m. de capacidad, y medidores de 1" del tipo disco para descargas de 1 a 50 g.p.m.

Los medidores deben ser calibrados por lo menos una vez al mes y los rangos de las capacidades mencionados deben usarse correctamente.

Cuando existe flujo turbulento, las lecturas del medidor son influenciadas, por lo que debe evitarse cambios de diámetro en el sistema (23).

b) Manómetro

Los manómetros comerciales utilizados, deben presentar un error máximo del 30% (24).

El manómetro y el medidor de consumo de agua y las válvulas van ensambladas mediante tubería, niples, uniones "T" y uniones universales.

c) Dos válvulas de compuerta de 1" a 1 1/2"

La primera válvula, sirve para evacuar el volumen de agua en exceso inyectado por la bomba y este volúmen debe retornar a los tanques de almacenamiento mediante el uso de una manguera.

La segunda válvula sirve para regular la presión requerida durante el ensayo.

6.3.2.3 Tanques de almacenamiento de agua

Se recomienda el empleo de 3 a 4 cilindros (55 galones) unidos mediante niples y uniones universales de 1 1/2" para asegurar el volúmen de agua requerido para todo el ensayo, como se aprecia en el esquema de la Fig. VI-3b.

6.3.2.4 Sonda eléctrica

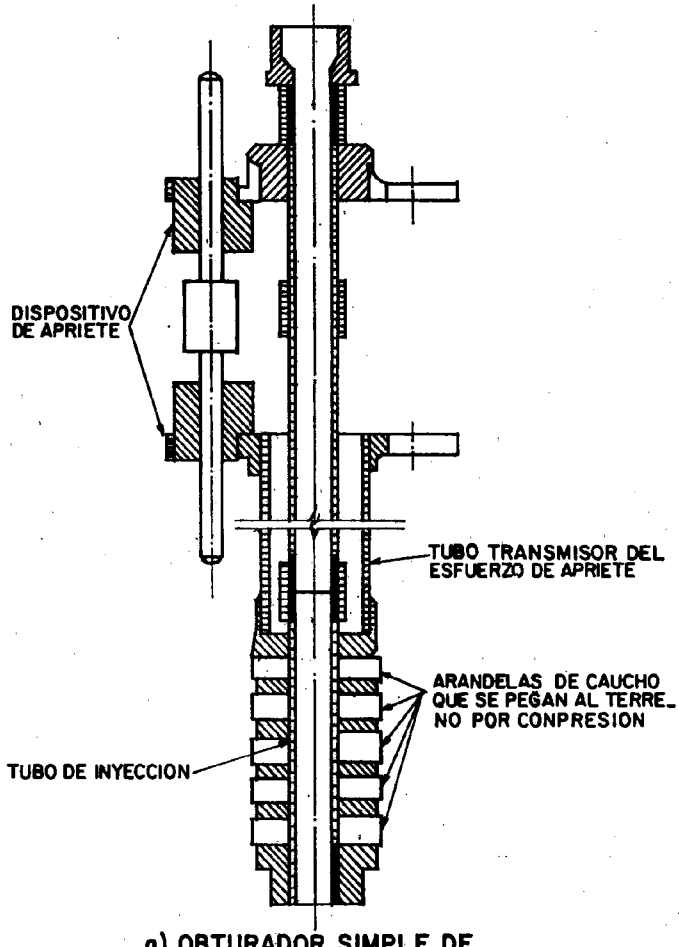
Para medir el nivel de agua en los sondajes, se utiliza sondas eléctricas, cuyo principio se basa en el cierre del circuito eléctrico del conductor (medidor) al ponerse en contacto con la superficie de agua, lo que se registra mediante la aguja de un miliamperímetro (Fig. VI-3c).

6.3.2.5 Disposición del equipo

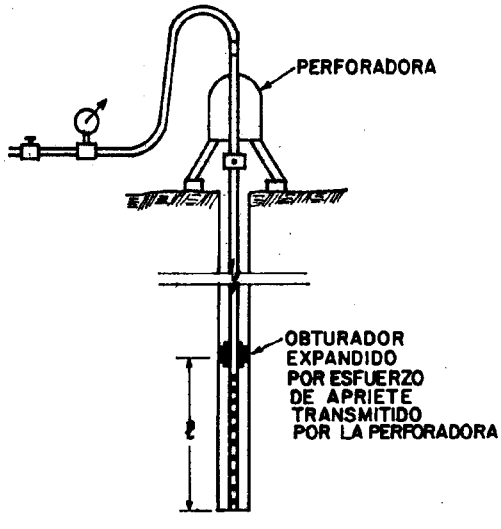
El equipo a utilizarse en los ensayos, se debe disponer tal como se muestra en la Fig. VI-4, en el orden siguiente:

a) Fuente de abastecimiento de agua (cursos de agua limpia, o tanques de almacenamiento).
b) Bomba de la máquina de perforación.
c) Mangueras de impulsión.
d) Dispositivo de inyección.
e) Cabezal giratorio de la máquina de perforación.
f) Tubería de alimentación de agua (varillaje de perforación).
   Las uniones deben ser herméticamente selladas con el uso de arandelas de caucho.
g) Obturador (simple o doble) de acuerdo al diámetro de perforación empleada.

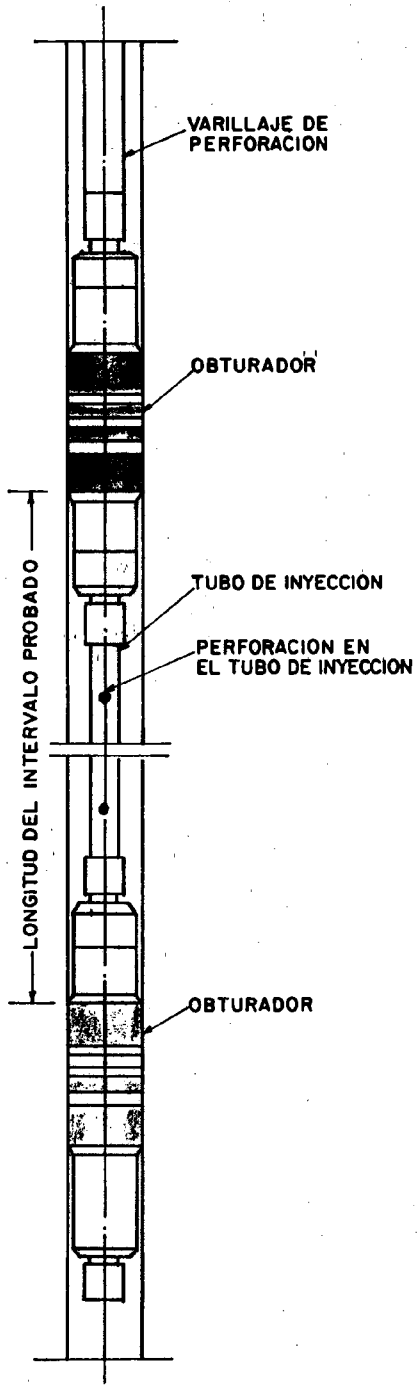
FIG. VI-2- OBTURADORES



a) OBTURADOR SIMPLE DE ARANDELAS DE CAUCHO (2).



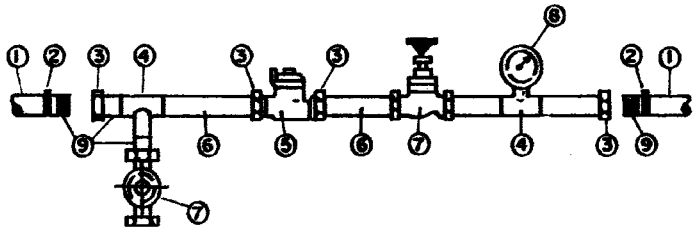
c) OBTURADOR SIMPLE (23).



b) OBTURADOR DOBLE (CRAELIUS)

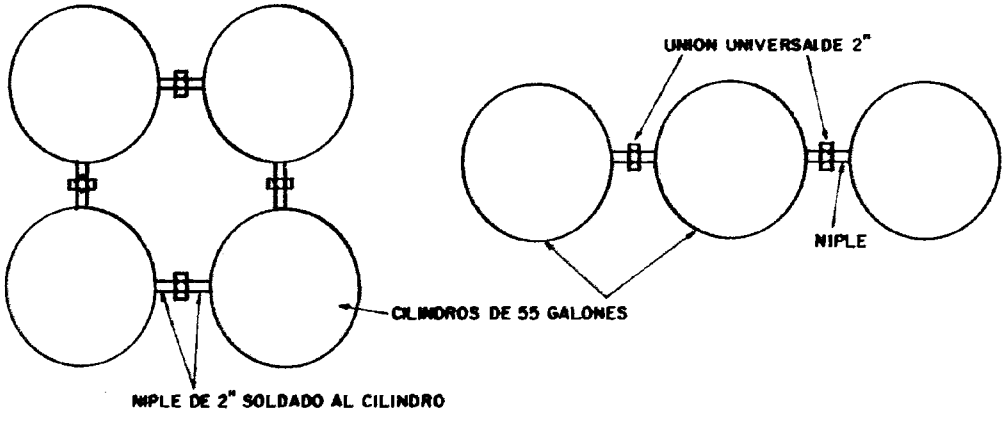
FIG. VI-3 - ESQUEMAS DEL DISPOSITIVO DE DISTRIBUCION DE INYECCION, TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA Y SONDA ELECTRICA

a) ESQUEMA DEL DISPOSITIVO DE DISTRIBUCION DE INYECCION



① - MANGUERAS
② - ABRAZADERAS
③ - UNIONES UNIVERSALES
④ - "T"
⑤ - CONTADOR DE AGUA(medidor)
⑥ - TUBERIA GALVANIZADA
⑦ - VALVULAS DE COMPUERTA
⑧ - MANOMETRO
⑨ - NIPLES

b) ESQUEMAS SOBRE LA CONSTRUCCION DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE AGUA



c) ESQUEMA DEL PRINCIPIO DE LA SONDA ELECTRICA

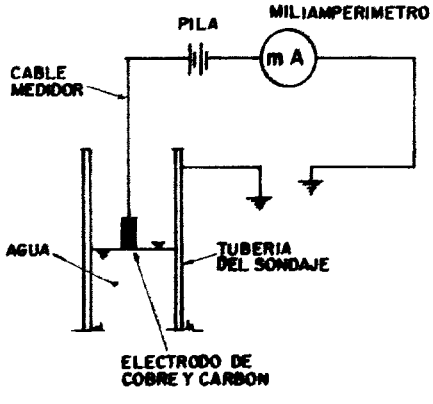
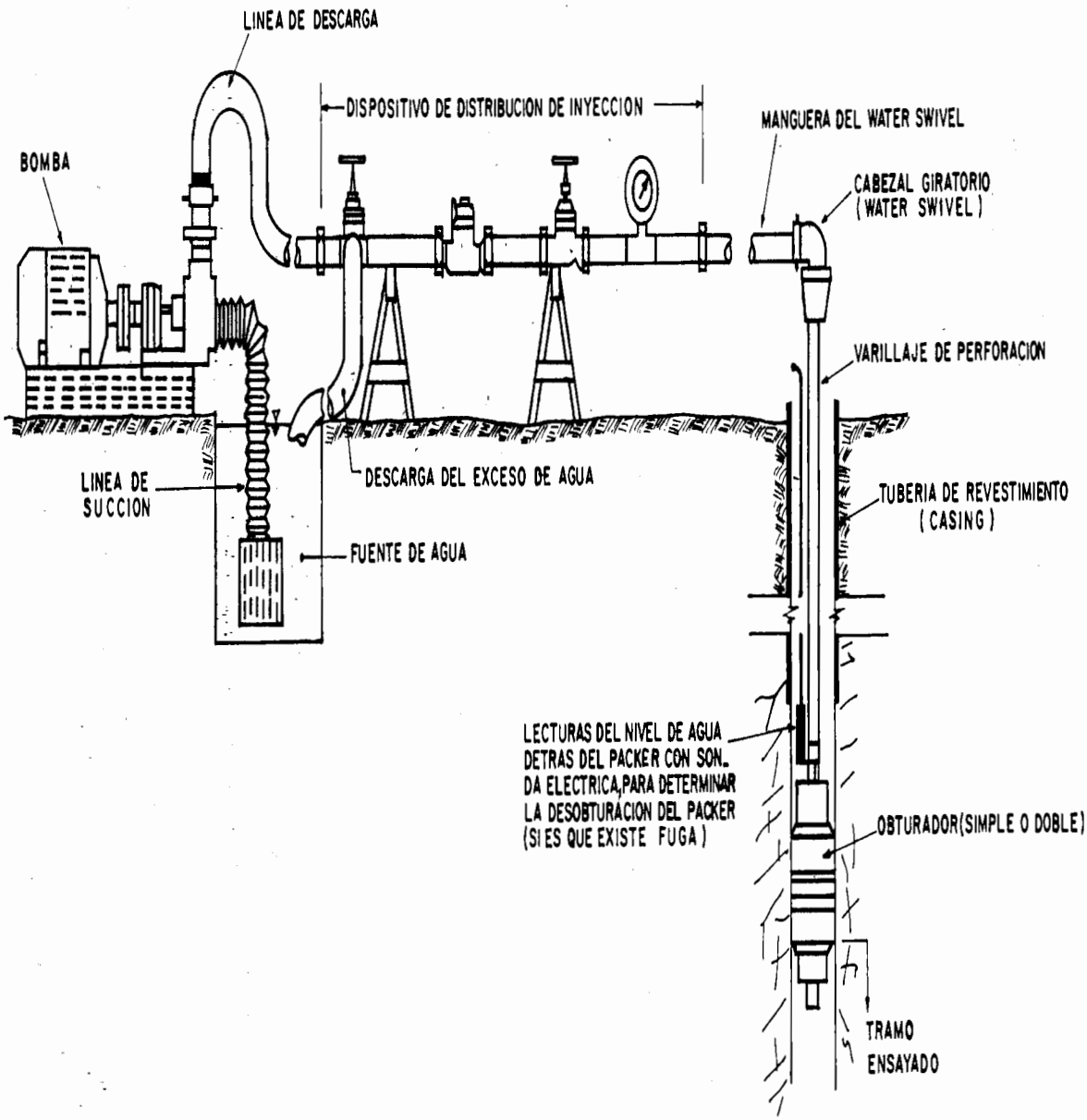


FIG. VI-4- ESQUEMA DE DISTRIBUCION DE EQUIPO EN LAS PRUEBAS DE PRESION



6.3.3 Longitud del intervalo de prueba

La longitud del intervalo de prueba está gobernado por la estabilidad del sondaje y la probable permeabilidad del tramo ensayado y puede ser logrado por:

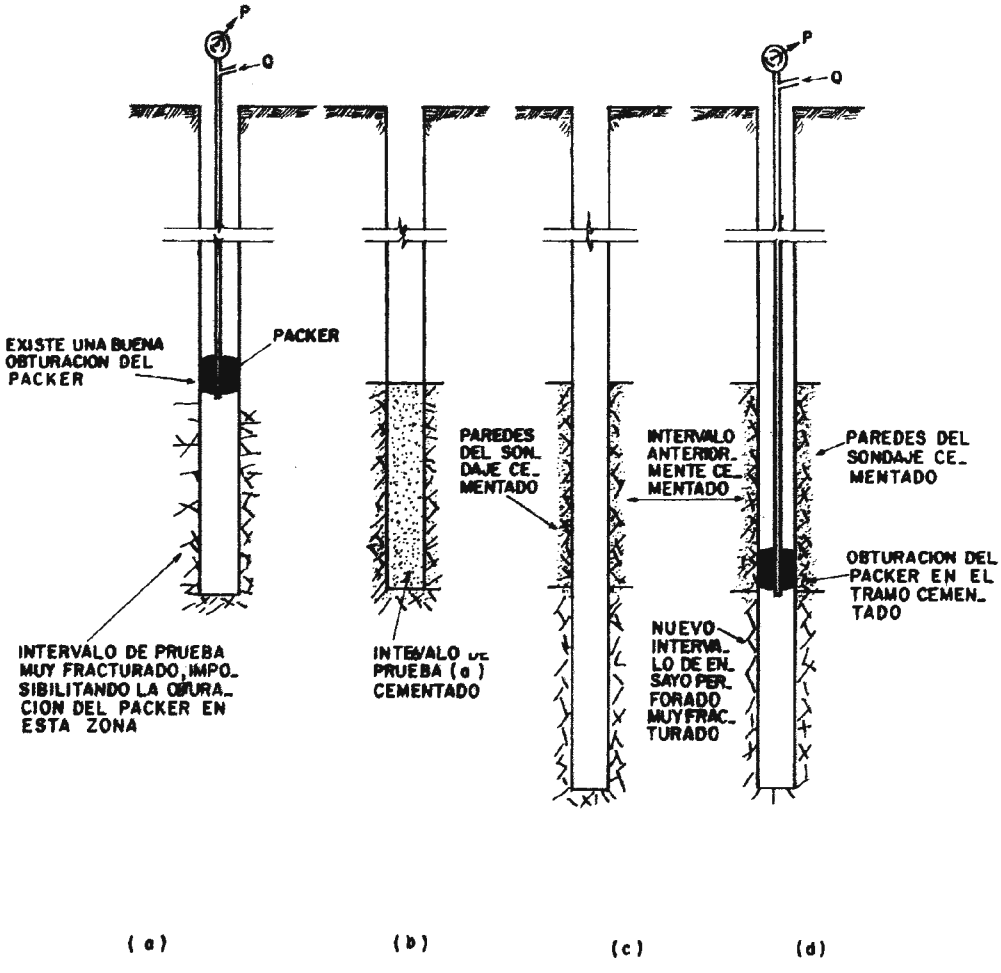
- Mediante el ajuste del obturador a las paredes del sondaje y el fondo del mismo.
- Mediante el ensamble de dos obturadores de longitud previamente establecida (ver Fig. VI-2b).

En formaciones de rocas blandas o que presentan demasiadas cavernas o en tramos donde se presenten fuertes pérdidas de agua que sobrepasen la capacidad de la bomba, las longitudes probadas deben ser cortas debido a la erosión que puede producirce como consecuencia de la presión.

La longitud del intervalo de prueba, se puede conseguir mediante el ascenso o descenso del obturador hasta lograr un buen sellado entre éste y las paredes del sondaje, evitando así, el escape de agua a través de la parte posterior del obturador, detectándose estas fugas mediante el uso de la sonda eléctrica instalada detrás de la tubería del obturador.

Es una práctica muy común del U.S.Bureau of Reclamation (24) cuando la roca se encuentra muy fracturada y su obturación dificultosa (Fig. VI-5), ejecutar ensayos con intérvalos de 1.5 a 3 m. (5 a 10 pies). Una vez terminado el ensayo, cementar el sondaje, luego perforar otros 1.5 ó 3 m. debajo de la cementación para luego hacer otra prueba con la finalidad de obtener la obturación en la parte inferior del intérvalo anteriormente cementado, quedando libre de cementación el nuevo tramo de ensayo.

FIG. VI-5 - UTILIZACION DE LA CEMENTACION DE POZOS EN LAS PRUEBAS DE PRESION



Cuando la roca es firme y muestra condiciones de fracturamiento mínimos, se puede alargar las longitudes de los intérvalos de prueba hasta un máximo de 10 m. (18), o bien en intérvalos de longitud de 5 m. Estas longitudes son inadecuadas en rocas que presenten fracturamientos fuertes, dado que no permiten la localización de zonas permeables.

Para lograr mayores avances de perforaciones en casos de rocas firmes y uniformes, es recomendable terminar el sondaje y posteriormente con el empleo de obturadores dobles ensamblados con secciones máximas de prueba de 5 m., se ejecutan los ensayos desde el fondo del pozo hacia arriba.

NOTA: Cuando existen tramos que consumen una cantidad de agua que sobrepasen la capacidad de la bomba, es necesario registrar la capacidad de la misma y no la presión (12). Cuando se requiera precisar si esta absorción intensa de agua proviene como causa de una fisura muy abierta o por el contrario de múltiples fisuras pequeñas, se procede a inyectar cuidadosamente lechada de cemento en ese intérvalo; si la cantidad inyectada es notable, corresponde a una gran fisura y si es mínima, corresponde a una multitud de fisuras pequeñas.

6.3.4 Programación del ensayo

Con anterioridad a la instalación del equipo, es necesario determinar si el pozo perforado ha atravesado el nivel freático o en caso contrario si el pozo es seco con la finalidad de establecer la gama de presiones que se van a utilizar en el ensayo.

6.3.4.1 Carga hidráulica (H)

Cuando la longitud del intérvalo de prueba queda arriba del nivel freático, la carga hidráulica total H que actua en el intérvalo probado, es la distancia en metros desde el centro del intérvalo de prueba hasta la base del manómetro, más la presión aplicada convertida en metros de agua (1 Kg/cm^2 = 10 m.), como se muestra en la Fig. VI-6a.

Cuando la longitud probada se encuentra debajo del nivel freático, la carga hidráulica total H es la distancia en metros desde la base del manómetro hasta el nivel freático, más la presión aplicada convertida en metros de agua, como se muestra en la Fig. VI-6b.

La presión aplicada (presión manométrica) no debe exceder a 10 Kg/cm^2 (100 m. de agua) debido al límite de la capacidad del obturador; asímismo, por correr el riesgo de producir una fracturación artificial que aumentaría la permeabilidad real del terreno probado aún en las condiciones más adversas (24).

6.3.4.2 Ciclo de presiones (Método Looping)

La utilización del ciclo de presiones, proporcionará una información complementaria sobre el comportamiento de la roca sometida a presión como se verá más adelante.

La gama de presiones o tramos de presión a utilizarse, dependen del estado de fisuración del terreno. Los terrenos que presenten diferentes planos de estratificación y sean facilmente deformables como consecuencia de la presión, no deben ser sometidos a presiones altas, por lo que U.S.Bureau of Reclamation (24) recomienda aplicar presiones de 1.5; 3.5; 5 ó 7 Kg/cm^2, teniendo

en cuenta que a presiones menores que 1.5 Kg/cm^2, los errores de medición llegan a ser mayores; asímismo, con presiones mayores de 7 Kg/cm^2, la seguridad del sellado del obturador disminuye. La presión efectiva máxima total teórica debe ser igual a la altura de carga hidráulica en metros desde el fondo del sondaje hasta el nivel máximo de la presa (12).

El ciclo de presiones recomendado es de presiones ascendentes y descendentes de 1.5; 3.5; 5.0; 3.5 y 1.5 Kg/cm^2, (18 y 23).

6.3.5 Procedimiento del ensayo

Una vez instalado el equipo como se muestra en la Fig. VI-4, se inyecta agua al intérvalo probado a varias presiones constantes, previamente establecidas hasta conseguir un caudal constante. Se debe tener en cuenta que la seguridad del ensayo, depende de las consideraciones descritas anteriormente y del buen sellado del obturador con el sondaje, por lo que es necesario controlar por la parte posterior de la tubería del obturador con el uso de una sonda eléctrica, las fugas de agua que pueden provenir de un defectuoso ajuste del obturador, o en su defecto por los diferentes cambios que puede sufrir el terreno durante el ensayo.

Una vez aplicado el primer tramo de presión del ciclo programado, se realizan los siguientes tramos de presión en forma ascendente hasta la máxima presión programada, para luego aplicar la presión en forma descendente. En los ensayos realizados con el intérvalo de prueba localizados bajo el nivel freático, las lecturas del tiempo pueden ser hechas cada minuto en el lapso de los 10 primeros minutos, luego cada 2 minutos en el mismo período de tiempo y por último en períodos de 5 minutos, hasta establecer que las pérdidas de agua sean razonablemente uniformes y estabilizadas. Es necesario antes de efectuar las lecturas, inyec-

tar agua al sondaje a baja presión en un promedio de 10 minutos, pues el sistema del equipo instalado puede contener aire.

En forma análoga a lo anterior, en los ensayos realizados en los intérvalos localizados encima del nivel freático, antes de efectuarse las lecturas de tiempo, se debe inyectar agua al sondaje por lo menos 15 minutos en materiales que presenten grados de fisuración fuerte y de 25 minutos en materiales graníticos finos antes del inicio de la prueba, lográndose así saturar el terreno previamente.

6.3.6 Gráficas del ensayo

6.3.6.1 Gráficos de dependencia del gasto y de la presión en función del tiempo

Con la finalidad de establecer los caudales estabilizados bajo una presión constante, se grafican en papel milimetrado, los diferentes valores del gasto y de la presión obtenida durante el tiempo de duración del ensayo, tal como se muestra esquemáticamente en la Fig. VI-6c, obteniéndose diferentes umbrales de presión y de caudales en forma ascendente y descendente.

6.3.6.2 Curvas características de los ensayos a presión

Las curvas características de los ensayos, muestran la relación obtenida entre la altura de la carga hidráulica total (H) aplicada al intérvalo de prueba, en función del caudal estabilizado (Q).

Los valores de H y de Q, se obtienen del gráfico de dependencia del gasto y de la presión en función del tiempo, indicándose secuencialmente con números los diferentes tramos de presión aplicados en el ciclo de presiones en forma ascendente y descendente o viceversa, pa-

ra analizar el comportamiento del terreno como se muestra en la Fig. VI-7.

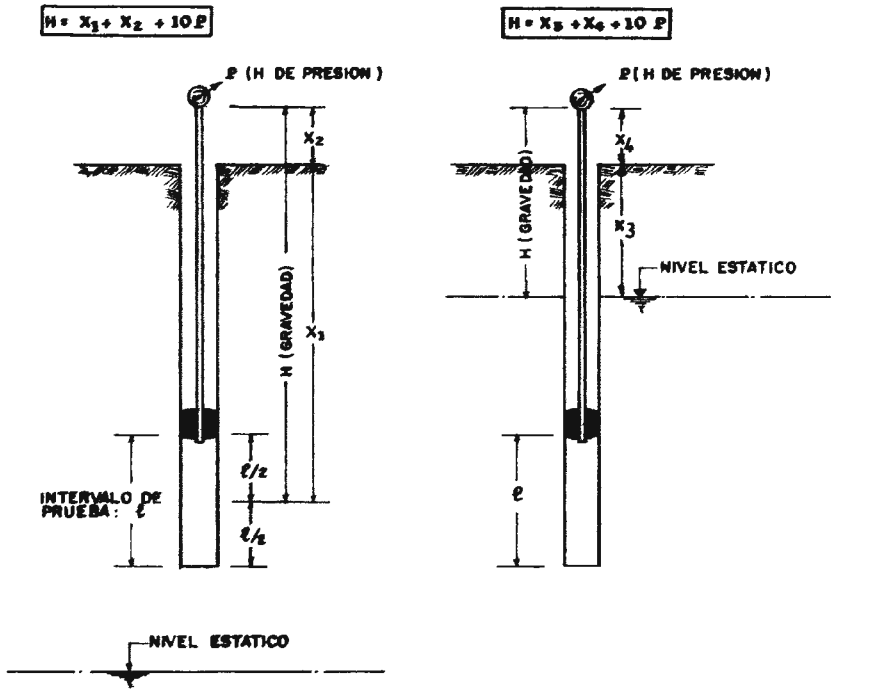
La interpretación de las curvas características (3), es la siguiente:

- Fig. VI-a : Existe flujo laminar
- Fig. VI-b : Existe flujo laminar, seguido de una gran obturación de las fisuras a gran presión.
- Fig. VI-c : Existe filtración laminar, seguida del desbrozamiento o desobturación de las fisuras.
- Fig. VI-d : Existe obturación de las fisuras a baja presión.
- Fig. VI-e : Existe obturación de las fisuras a baja y alta presión respectivamente.
- Fig. VI-f : Existe obturación de las fisuras a baja presión seguida de una desobturación a alta presión.
- Fig. VI-g : Existe flujo laminar, seguido de una leve obturación.
- Fig. VI-h : Existe una desobturación progresiva (fisura grande o falla del sello del obturador).
- Fig. VI-i : La curva presenta formas diversas debido a la sucesión de obturación y desobturación de las fisuras del terreno.

Esta interpretación, se basa en que los sedimentos que se desprenden durante la perforación obturan la entrada de las fisuras de los materiales atravesados por el sondeo, o cuando el pozo no ha sido limpiado previamente al ensayo. Estos sedimentos, pueden falsear los resultados.

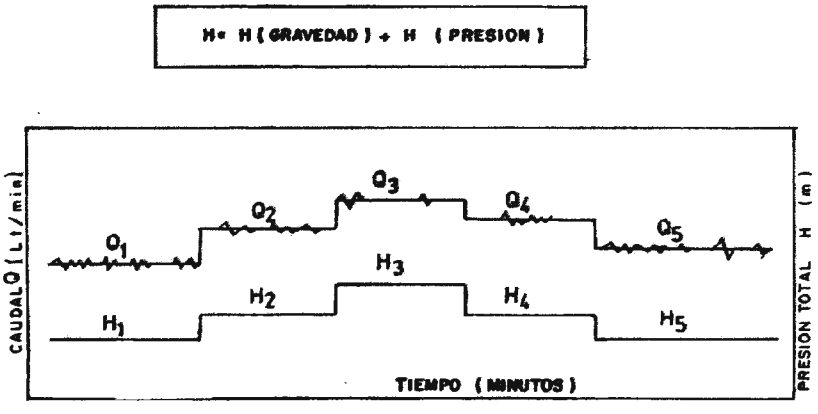
En forma análoga, cuando se aplican presiones muy fuertes, ocasionan fracturaciones artificiales dando como consecuencia la desobturación progresiva de las fisuras o erosión de las mismas.

FIG. VI-6 - ESQUEMAS DE EL CALCULO DE LA CARGA HIDRAULICA (H) Y ESQUEMA DEL GRAFICO: Q, H = F (t) (*)



a) POZO CON EL NIVEL ESTATICO MUY PROFUNDO

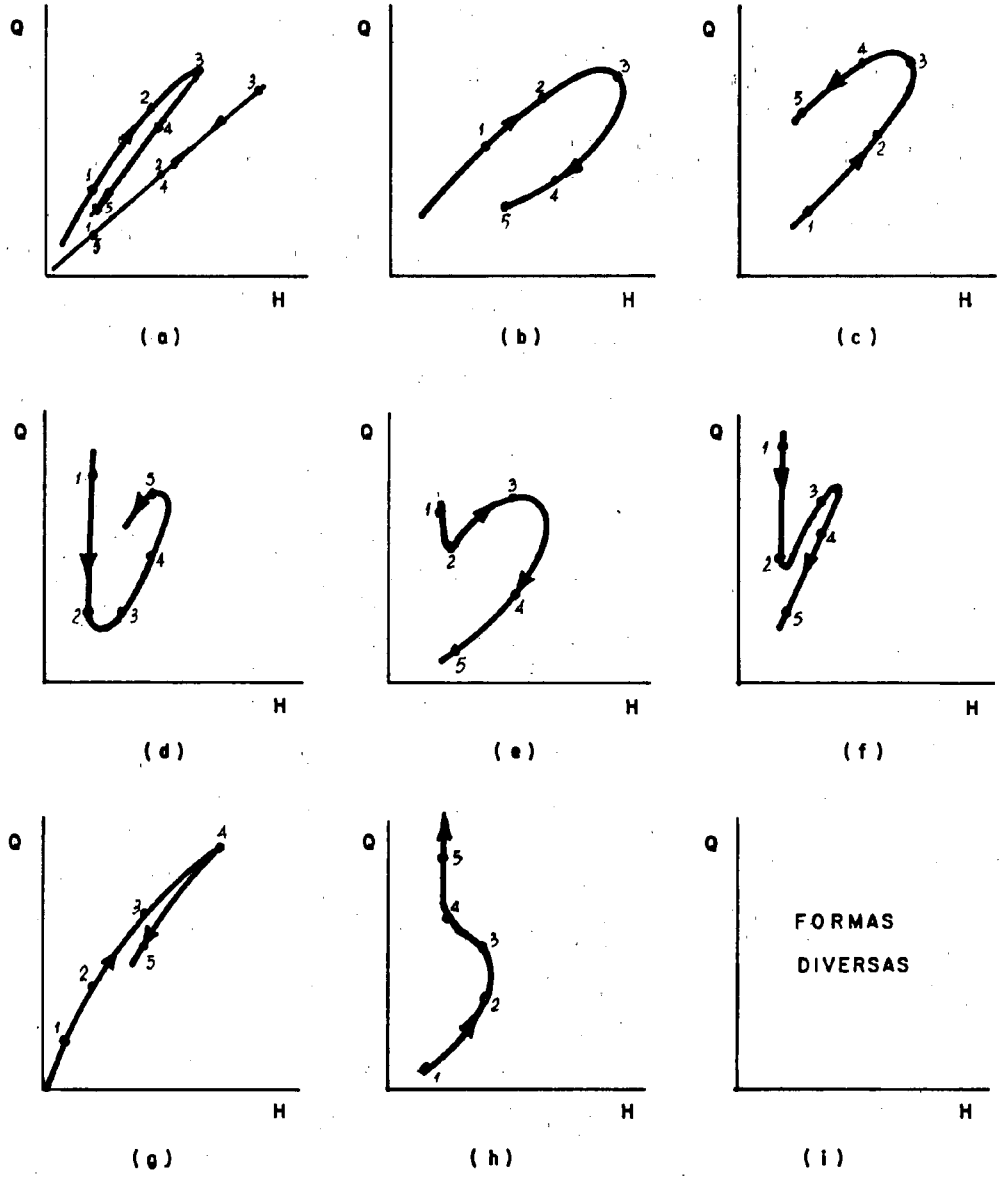
b) POZO CON EL NIVEL ESTATICO ENCIMA DEL INTERVALO DE PRUEBA



c) GRAFICA DE DEPENDENCIA DEL GASTO (Q) Y DE LA PRESION TOTAL (H) EN FUNCION DE TIEMPO

(*) MAYOR INFORMACION SOBRE LA DETERMINACION DE LA CARGA HIDRAULICA PUEDE ENCONTRARSE EN:
"INFLUENCIA DEL NIVEL POTENCIAL, EN LA MEDICION DE LA PRESION EFECTIVA EN PRUEBAS DE AGUA A PRESION" - ING. H. VALDIVIA ASPILCUETA - 1983. TRABAJO DE INVESTIGACION - U.N.A.

FIG. VI-7 – CURVAS CARACTERISTICAS DE LOS ENSAYOS A PRESION



Leyenda: • Número del tramo de presión.
Sentido del ciclo de presiones ejecutado en el ensayo.

Fuente: Cambefort (3).

6.3.7 Cálculo de los parámetros hidrogeológicos

La permeabilidad de los terrenos que conforman la cimentación, es la propiedad que tienen estos de dejar pasar el agua a través de las fisuras, diaclasas o capas de suelos que existen frecuentemente en las formaciones rocosas.

Como se comprenderá, la evaluación de la permeabilidad con los ensayos "in situ" a presión, será la de la permeabilidad en grande, que es muy diferente a la permeabilidad medida en el laboratorio, ya que éstas últimas se realizan sobre muestras inalteradas puntuales; por lo que los resultados de los ensayos a presión que se ejecutan en los sondajes diamantinos, precisan el grado de fisuramiento de la cimentación (2).

La cuantificación de la permeabilidad de la cimentación, está dada por los siguientes índices o parámetros hidrogeológicos:

- Coeficiente de permeabilidad (K)
- Absorción específica (q)
- Lugeónes (Lug).

A continuación, se describe el cálculo de cada uno de ellos.

6.3.7.1 Coeficiente de permeabilidad

Se entiende por coeficiente de permeabilidad, la velocidad con que se mueve el agua en los terrenos de la cimentación bajo un gradiente igual a la unidad (18).

El coeficiente de permeabilidad (K), está dada por las siguientes relaciones (25):

$$K = \frac{Q}{2\pi l H} \ln \frac{l}{r} \text{ ; para } l \geqslant 10r \quad [7]$$

$$K = \frac{Q}{2\pi l H} \text{ Sen } h^{-1} \frac{l}{2r}; \text{ para } 10r > l \geqslant r \quad [8]$$

donde:

K = Coeficiente de permeabilidad es m/día.
Q = Caudal constante y estabilizado de agua que se inyecta al sondaje en m^3/día.
H = Presión efectiva en m.
l = Longitud de intérvalo ensayado en m.
r = radio del sondaje en m.

Estas fórmulas son válidas, cuando el espesor del estrato probado es cuando menos 5 veces la longitud del intérvalo ensayado, y se consideran más seguras cuando los ensayos han sido realizados en terrenos saturados por el nivel freático (25).

Siendo la expresión [7] la más empleada por efectos prácticos de las unidades, se puede expresar:

$$K = 6.1 \times 10^{-4} \frac{Q}{l H} \text{ Log } \frac{l}{r} \qquad [9]$$

ó:

$$K = \left(\frac{6.1 \times 10^{-4}}{l} \cdot \text{Log } \frac{l}{r}\right) \frac{Q}{H} = C_1 \frac{Q}{H}$$

Donde Q, esta medido en litros/minuto; l, H y r en metros y el coeficiente de permeabilidad K está expresado en centimetros/segundo.

Al inverso del factor C_1, Cambefort (2) le denomina como coeficiente de la cavidad cilindrica del intérvalo de prueba.

El valor de C_1 para los diferentes valores de intérvalos de prueba y diámetros del sondaje diamántino, se han calculado y se resumen en el Cuadro VI-2, para mayor comodidad del uso de la fórmula [9].

El coeficiente de permeabilidad, se utiliza en los cálculos de Ingeniería de Presas, para evaluar las pérdidas por filtración que se producen en la sección de cierre; asímismo, para preveer las medidas constructivas de impermeabilización de la cimentación y obras de drenaje, como parte del planeamiento de diseño del cuerpo de presa.

CUADRO N°VI-2

VALORES DEL COEFICIENTE C_1 PARA DIFERENTES INTERVALOS DE PRUEBA Y DIAMETROS DE SONDAJE DIAMANTINO

Fórmula desarrollada:

$$K = \left(\frac{6.1 \times 10^{-4}}{l} \text{ Log } \frac{l}{r}\right) \frac{Q}{R} = C_1 \frac{Q}{H}; \quad \text{para } l \geqslant 10\,r$$

Donde K se encuentra expresado en cm/seg.; l, H y r en metros y Q en lt/minuto.

LONGITUD DEL INTERVALO DE PRUEBA "l"	VALORES DE $C_1 \times 10^{-4}$			
	DIAMETRO DEL SONDAJE			
	EX (0.0381 m.)	AX (0.0476 m.)	BX (0.0603 m.)	NX (0.0762 m.)
0.50	17.24	16.06	14.81	13.59
0.75	12.92	12.14	11.31	10.48
1.00	10.45	9.86	9.24	8.62
1.25	8.83	8.36	7.86	7.37
1.50	7.68	7.29	6.87	6.46
1.75	6.82	6.48	6.12	5.77
2.00	6.14	5.85	5.54	5.23
2.25	5.60	5.33	5.06	4.78
2.50	5.15	4.91	4.66	4.42
2.75	4.77	4.56	4.33	4.11
3.00	4.45	4.25	4.05	3.84
3.25	4.18	3.99	3.80	3.61
3.50	3.93	3.76	3.58	3.41
3.75	3.72	3.56	3.39	3.23
4.00	3.52	3.38	3.22	3.07
4.25	3.36	3.22	3.07	2.93
4.50	3.20	3.07	2.94	2.80
4.75	3.07	2.94	2.81	2.68
5.00	2.94	2.82	2.70	2.57

6.3.7.2 Absorción específica

La absorción específica (q), es la cantidad de agua que se inyecta a un metro de sondaje, teniendo como carga hidráulica una columna de agua de un metro de altura y está expresado por la siguiente relación (18):

$$q = \frac{Q}{lH} \qquad [10]$$

Donde:

q = Absorción específica en lt/min. m por un m. de sondaje.
Q = Caudal de agua inyectada al sondaje en lt/min.
l = Longitud del intérvalo de prueba en m.
H = Carga hidráulica efectiva en m.

Considerando que los ensayos se ejecutan con varios tramos de presión (Punto 6.3.4.2), para el cálculo es necesario el análisis de las curvas características de los ensayos descritos anteriormente (Punto 6.3.6.2).

Las curvas características Q = f (H), se pueden transformar en curvas de dependencia Q_0 = f (H), donde Q_0 le denominamos "caudal específico" y está expresado por la siguiente relación:

$$Q_0 = \frac{Q}{l} \qquad [11]$$

Las curvas Q_0 = f (H), pueden tomar las dos principales formas como se muestra en la Fig. VI-8a. Cuando la dependencia es rectilinea (Curva B), el valor de la absorción específica en cualquier tramo de presión será:

$$q = \frac{Q_0}{H} = \frac{Q}{lH} \qquad [12]$$

Cuando la relación es curvilínea y está dirigida en forma cóncava hacia arriba (Curva A), es necesario construir gráficos complementarios, pues esta puede tener una dependencia parabólica o logarítmica (18), como se verá más adelante.

Cualquier otro tipo de curva que se presente en la función $Q_0 = f(H)$ (cóncava hacia abajo, curvas variables, ensayos con un solo tramo de presión, etc.), el análisis se realizará asumiendo la dependencia rectilínea, de acuerdo a los tramos de presión más representativos del ensayo, pues el exámen previo de las curvas características $Q = f(H)$, nos dirá si ha existido obturación o desobturación de las fisuras.

Cuando la curva $Q_0 = f(H)$ tiene dependencia parabólica, ésta estará expresada por:

$$H = a\ Q_0 + b\ Q_0^2 \qquad [13]$$

que puede ser transformada en forma lineal como:

$$H_0 = \frac{H}{Q_0} = a + b\ Q_0 \qquad [14]$$

La ecuación [14], puede ser representada en forma gráfica como se muestra en la Fig. VI-8b, donde el valor de "a" resulta de la intersección de la recta con la ordenada H_0 y el valor de "b" vendría a ser la pendiente de la recta, la cual puede obtenerse tomando coordenada arbitrarias en la recta Q'_0 y H'_0, luego:

$$b = \frac{H'_0 - a}{Q'_0} = tg\alpha$$

Siendo α el ángulo de inclinación de la recta.

Resolviendo la ecuación [13] obtenemos:

$$Q_0 = \frac{\sqrt{a^2 + 4\,b\,H} - a}{2\,b} \qquad [15]$$

De acuerdo a la definición de absorción específica, su significado es equivalente al caudal específico con una altura de presión H igual a un metro, por lo que la expresión [15] quedaría:

$$q = \frac{\sqrt{a^2 + 4\,b} - a}{2\,b} \qquad [16]$$

Expresión que se emplea para determinar la absorción específica, cuando la dependencia $Q_0 = f(H)$ es parabólica.

Cuando la curva $Q_0 = f(H)$, presenta una dependencia logarítmica, esta función estará representada por la siguiente ecuación:

$$Q_0 = n\,\sqrt[m]{H} \qquad [17]$$

La cual se puede transformar en forma rectilinea tomando logaritmos:

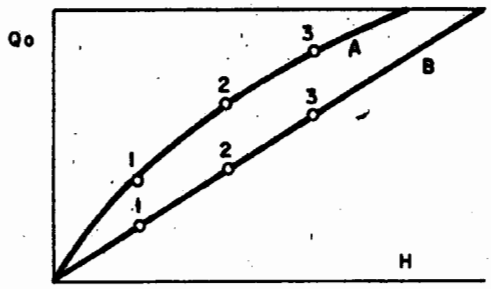
$$\text{Log } Q_0 = \text{Log } n + \frac{1}{m}\,\text{Log } H \qquad [18]$$

Teniendo en consideración la definición de absorción específica, la expresión [18] se puede simplificar a Log q = Log n, dado que Log H = Log 1 = 0; y ésta se puede representar graficamente como se muestra en la Fig.VI-8c, colocando en el eje de las absisas Log H y en el eje de las ordenadas Log Q_0, siendo el valor de Log q, la intersección de la recta transformada con el eje de las ordenadas.

La expresión [17], solamente es aceptada en las siguientes condiciones (11):

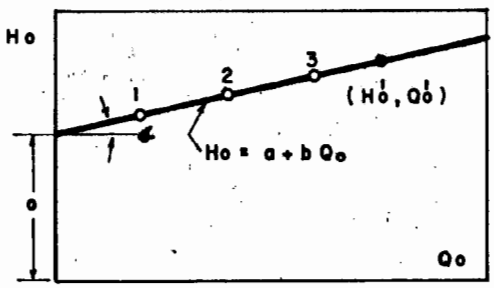
$$1 < \frac{\text{Log } H'}{\text{Log } Q'_0 - \text{Log } q} \leq 2$$

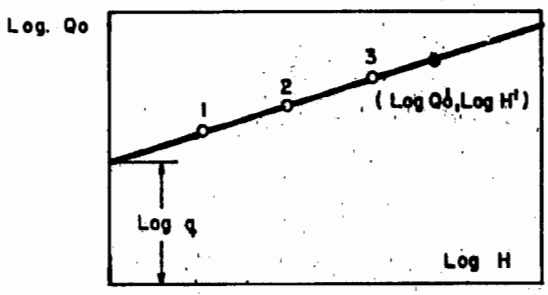
FIG. VI-8- GRAFICOS PARA DETERMINAR EL COEFICIENTE DE ABSORCION ESPECIFICA (q)



a) FUNCION: Qo = f(H)
CURVA A: PARABOLICA O LOGARITMICA
CURVA B: RECTILINEA

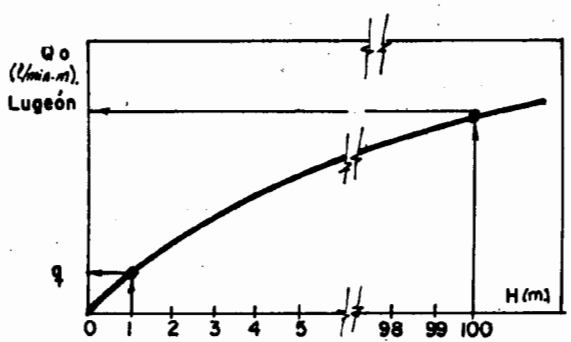
b) FUNCION PARABOLICA
$H = a Q_o + b Q_o^2$
TRANSFORMADA A RECTILINEA:
$H_o = a + b Q_o$





c) FUNCION LOGARITMICA
$Q_o = n \sqrt[m]{H}$
TRANSFORMADA EN RECTILINEA

d) METODO GRAFICO PARA OBTENER q Y LUGEON



donde Log H' y Log Q'_0 son coordenadas arbitrarias de la recta transformada.

Para mayor comodidad del uso de las fórmulas del coeficiente de permeabilidad introduciendo dentro de estas la absorción específica, combinando las expresiones [9] y [10], obtenemos:

$$K = 6.1 \times 10^{-4}\ q\ \ \mathrm{Log}\ \frac{l}{r} \qquad [19]$$

donde K está expresado en cm/seg., q en lt/min. m por metro de sondaje; l y r en metros.

6.3.7.3 Lugeón

Se entiende por Lugeón (Lug), a la cantidad de agua que se inyecta a un metro de sondaje, teniendo una carga hidráulica equivalente a una columna de agua de 100 m. de altura (10 Kg/cm^2) y se expresa análogamente a la absorción específica en lt/min. m por metro de sondaje.

Este parámetro hidrogeológico, se utiliza solamente para clasificar las rocas de acuerdo a su permeabilidad, considerando como rocas competentes para cimentación de ejes de presa cuando presentan permeabilidades menores de 5 lugeones (28); entendiéndose por rocas competentes aquellas que no necesitan tratamiento de impermeabilización.

Para el cálculo de este parámetro, se sigue la misma metodología empleada en el cálculo de la absorción específica (Punto 6.3.7.2), ya que por definición de Lugeón:

$$1\ \text{Lugeón} = 100\ Q/lH = 100\ q \qquad [20]$$

El Lugeón puede ser también estimado en forma gráfica de la curva de dependencia $Q_0 = f(H)$ como se muestra esquemáticamente en la Fig. VI-8d.

La relación que existe entre el Lugeón y el coeficiente de permeabilidad (2) es de:

$$1 \text{ Lugeón} = 1 \text{ a } 2 \times 10^{-5} \text{ cm/seg.}$$

6.4 Ensayos de permeabilidad por gravedad

Estos ensayos, consisten en realizar vertimientos de agua limpia por gravedad con un caudal constante dentro del sondaje, hasta obtener una columna de agua estable o sea mantener un nivel dinámico constante sobre el fondo de la perforación durante un tiempo establecido y se pueden realizar en terrenos donde el nivel freático está demasiado profundo que impiden en los sondajes realizar pruebas de bombeo.

Los ensayos por gravedad deben ser empleados cuando la perforación atraviesa materiales aluviales, materiales rocosos muy fracturados o cuando los terrenos probados no permitan el uso de obturadores.

Los métodos más empleados en los ensayos por gravedad, son los siguientes:

- Pruebas con tubería de revestimiento hincados al fondo del sondaje.
- Pruebas con el intérvalo delimitado por la tubería de revestimiento y el fondo del sondaje.
- Pruebas con uso de obturadores.
- Pruebas en sondajes sin revestimiento.

Los tres métodos iniciales, se les conoce en la práctica como Ensayos Lefranc y el último como el Método de Nasbierg y su prin-

cipio es el mismo que el de los ensayos de permeabilidad a presión, ya que los primeros utilizan alturas de carga hidráulica por gravedad, razón por la cual proviene su nombre.

Las consideraciones técnicas de operación y equipo, practicamente son las mismas que la de los ensayos a presión, pero cuando se inyecta agua al sondaje, puede presentarse el caso que los caudales inyectados sean muy pequeños resultando la bomba inútil, entonces se podrá introducir el agua con bidones de capacidad conocida, que permita mantener siempre un nivel dinámico constante en el sondaje.

Cuando se presente el caso mencionado, o sea cuando el flujo de agua perdida en la sección de prueba, es menor que el flujo de la capacidad de un medidor de agua con mecanismo de relojería, se debe utilizar siempre tanques calibrados (Fig. VI-9).

6.4.1 Pruebas con tubería de revestimiento hincados al fondo del sondaje

Estos ensayos se realizan cuando el material probado es muy fracturado o son terrenos pulvurentos, de modo que cuando la perforación atraviesa estos materiales, es necesario el revestimiento o entubado para estabilizar las paredes del sondaje; dado que en sondajes de prospección no se utilizan lodos de perforación, puesto que estos alterarían las condiciones naturales de permeabilidad.

La cavidad a través de la cual se va a efectuar el ensayo, corresponde solamente la sección circular del sondaje limitada por la parte inferior de la tubería, por lo que es necesario que el fondo del sondaje se encuentre limpio y no tenga nada de detritus producto de la perforación rotativa en el interior de la tubería de revestimiento.

6.4.1.1 Procedimiento del ensayo

El ensayo consiste en inyectar agua limpia al sondaje hasta obtener una columna de carga hidráulica constante. Para mayor facilidad de operación, generalmente se mantiene en la boca de la tubería de revestimiento un nivel dinámico constante durante un tiempo igual o mayor de 5 minutos hasta lograr estabilizar el caudal inyectado, como se muestra esquemáticamente en la Fig. VI-10a.

Cuando las pruebas se realizan encima del nivel freático, rara vez se mantiene un nivel dinámico constante, para lo cual bastará lograr variaciones de éste, en un rango de fluctuación de 5 cm.

6.4.1.2 Gráfica del ensayo

El ensayo efectuado se puede graficar en pápel milimetrado, como se muestra esquemáticamente en la Fig. VI-10b.

La gráfica obtenida, muestra la dependencia de la altura de presión efectiva aplicada y de la variación del caudal inyectado en función del tiempo de duración del ensayo y permite visualizar las variaciones que han ocurrido durante la prueba y la determinación del caudal estabilizado promedio.

6.4.1.3 Cálculo del coeficiente de permeabilidad

En el Punto 6.3.7.1, hemos establecido la fórmula:

$$K = \frac{1}{C} \cdot \frac{Q}{H} = C_1 \frac{Q}{H} \qquad [21]$$

Donde el coeficiente C depende de las características geométricas de la cavidad que ha realizado el sondaje al atravesar el terreno.

"Como estamos en terrenos poco coherentes, la forma de la cavidad puede variar. Las diversas fórmulas establecidas por varios autores difieren entre sí por suponer que la cavidad adopta una forma u otra. Creemos que es conveniente simplificar estas fórmulas, pues no ganamos con fórmulas mas o menos precisas, cuando en el procedimiento del ensayo no pueden pasarse de una cierta presición (28).

Considerando que la cavidad donde se efectúa la prueba comprende una sección circular creada entre el fondo de la tubería y el sondaje, el U.S.Bureau of Reclamation (25), ha determinado mediante analogía por fenómenos eléctricos el valor de $C = 5.5\,r$, donde r es el radio del sondaje o del radio interno de la tubería de revestimiento, por lo que la expresión [21] será:

$$K = \frac{Q}{5.5\,r\,H} \qquad [22]$$

en la cual:

K = Coeficiente de permeabilidad en un m/año
Q = Caudal inyectado al sondaje en m^3/año
H = Carga hidráulica en m.
r = Radio de la tubería en metros.

En este tipo de ensayos, la pérdida de carga de la corriente en las formaciones, se debe casi exclusivamente a las líneas de corriente de agua verticales, por lo que el coeficiente de permeabilidad obtenido es el de la permeabilidad vertical (2).

6.4.2 Pruebas con el intérvalo delimitado por la tubería de revestimiento y el fondo del sondaje

Este método, es muy similar al ensayo realizado con la tubería de revestimiento hincado al fondo del sondaje, diferiendo del anterior porque el intérvalo ensayado se encuen-

FIG. VI-9- ESQUEMA DEL TANQUE MEDIDOR DE CONSUMO DE AGUA

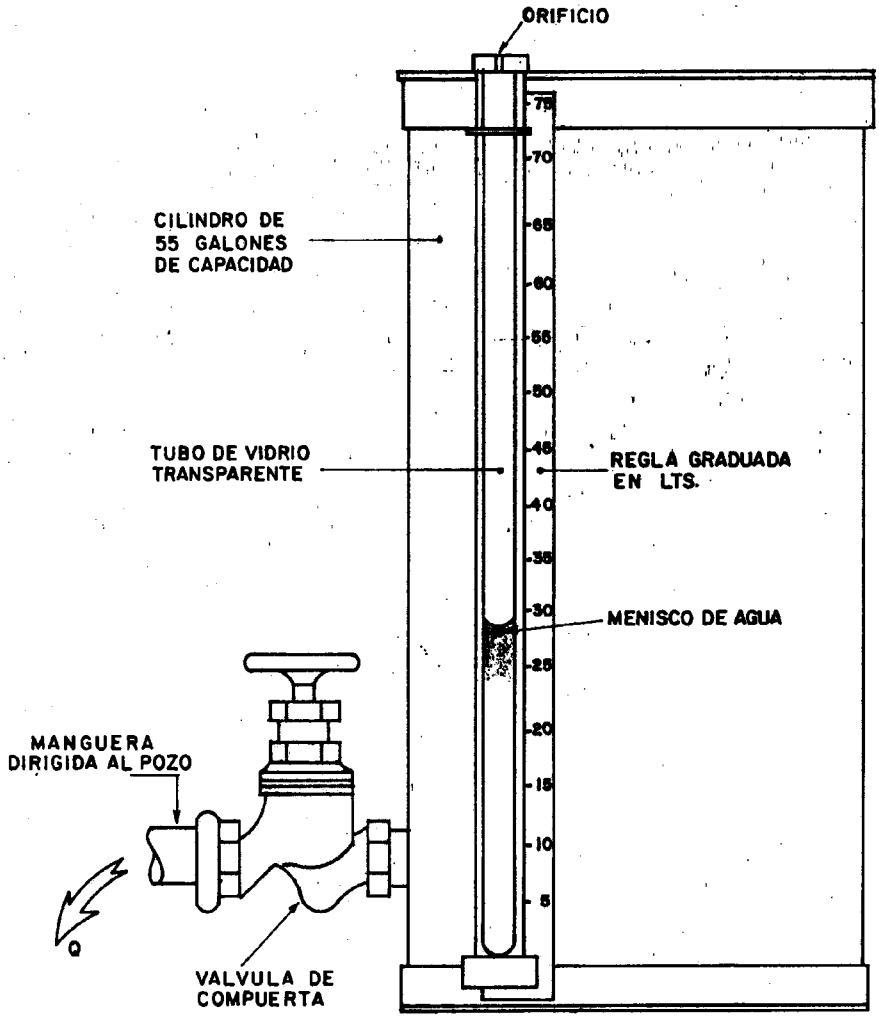
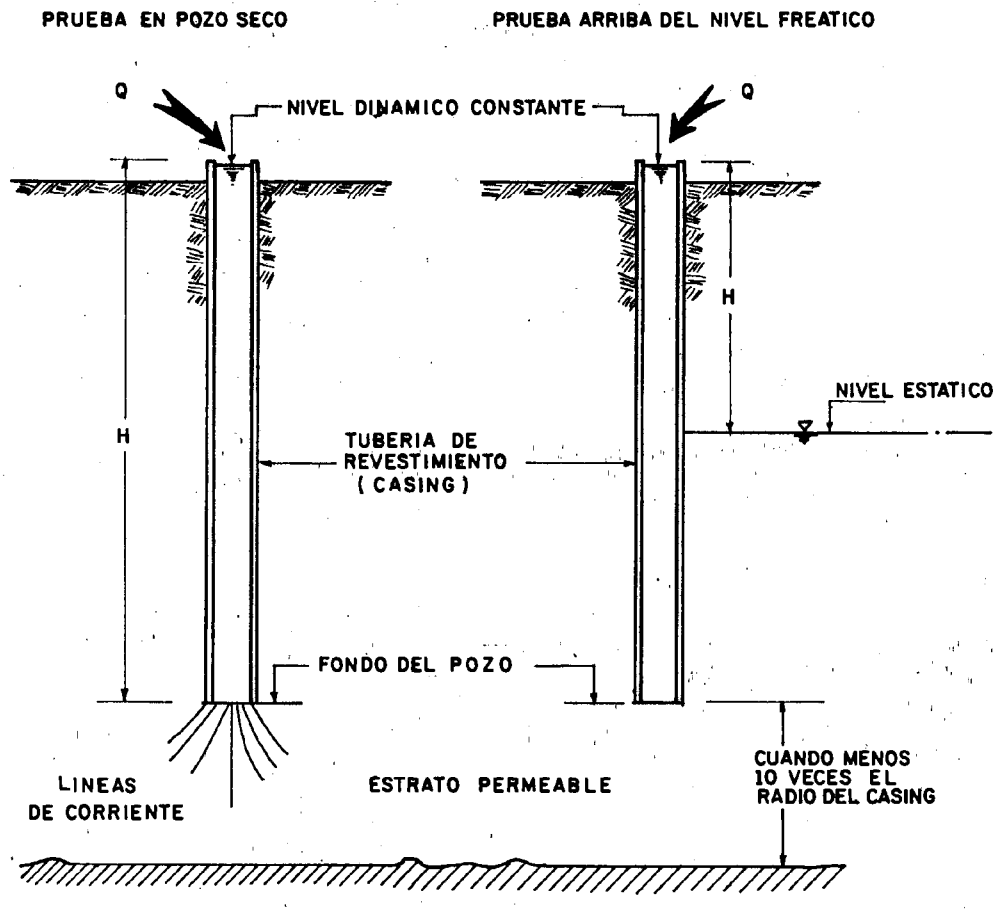
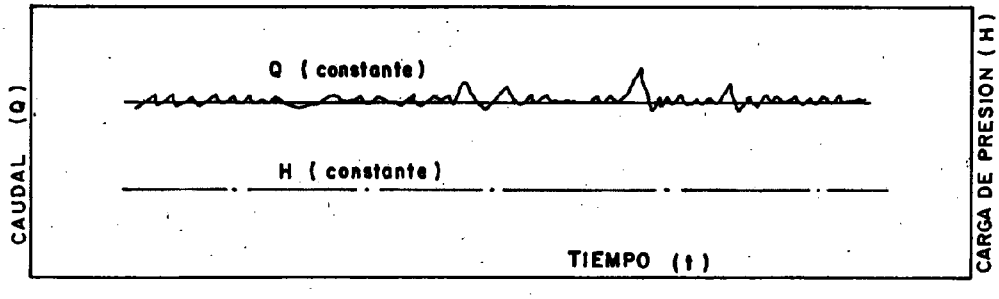


FIG. VI-10 - PRUEBA DE PERMEABILIDAD POR GRAVEDAD CON TUBERIA DE REVESTIMIENTO HINCADO AL FONDO DEL POZO



a) ESQUEMA DEL ENSAYO



b) GRAFICA DEL ENSAYO

tra delimitado por la tubería de revestimiento (casing) y el fondo del sondaje (Fig. VI-11). En este caso, las líneas de corriente son horizontales, por lo que el coeficiente de permeabilidad obtenido es el de la permeabilidad horizontal (2). La tubería de revestimiento en este caso, funciona como un obturador delimitando así el intérvalo de prueba.

6.4.2.1 Procedimiento del ensayo

Análogamente que en el caso de la prueba descrita en el Punto 6.4.1, el ensayo consiste en ejecutar vertimientos de agua dentro del sondaje a través de la tubería de revestimiento, hasta conseguir un gasto constante a un nivel dinámico o altura de presión por gravedad constante, realizándose estas de dos maneras:

a) Manteniendo el nivel dinámico constante en la boca del sondaje, como en el caso de los ensayos con la tubería de revestimiento hincados en el fondo del sondaje durante un tiempo mayor o igual a 5 minutos, como se muestra esquemáticamente en la Fig. VI-11a, como se comprenderá en este caso se mantiene una sola altura de presión.

b) Manteniendo diferentes niveles dinámicos o sea diferentes alturas de presión, como se muestra esquemáticamente en las Figuras VI-11b y VI-12a. En este caso, las alturas de presión por gravedad (tramos de presión), pueden ser en forma ascendente o descendente, por lo que el análisis posterior de los resultados estará de acuerdo a las variaciones que sufre el terreno de acuerdo al gasto y a la presión por gravedad aplicados, de la misma forma que se hizo en el análisis de los ensayos de permeabilidad a presión, (Punto 6.3.6.2). Los niveles dinámicos se controlan con el empleo de una sonda eléctrica y su medición durante todo el ensayo deberá ser realizada desde un

punto de referencia previamente establecido, ejecutándose cada tramo de presión con un tiempo mínimo de 5 minutos.

El cálculo de las alturas de presión por gravedad H, se muestra esquematizado en las Figuras VI-11a y VI-12a. La altura de carga de presión constante por gravedad en caso de sondajes secos, es la diferencia entre la profundidad medida desde el punto de referencia de donde se han realizado las lecturas del nivel dinámico, con el punto medio de intérvalo de prueba. En el caso de un ensayo realizado en un sondaje que se encuentra con los niveles dinámicos aguas arriba del nivel estático, la altura de presión es la diferencia del nivel estático menos el nivel dinámico.

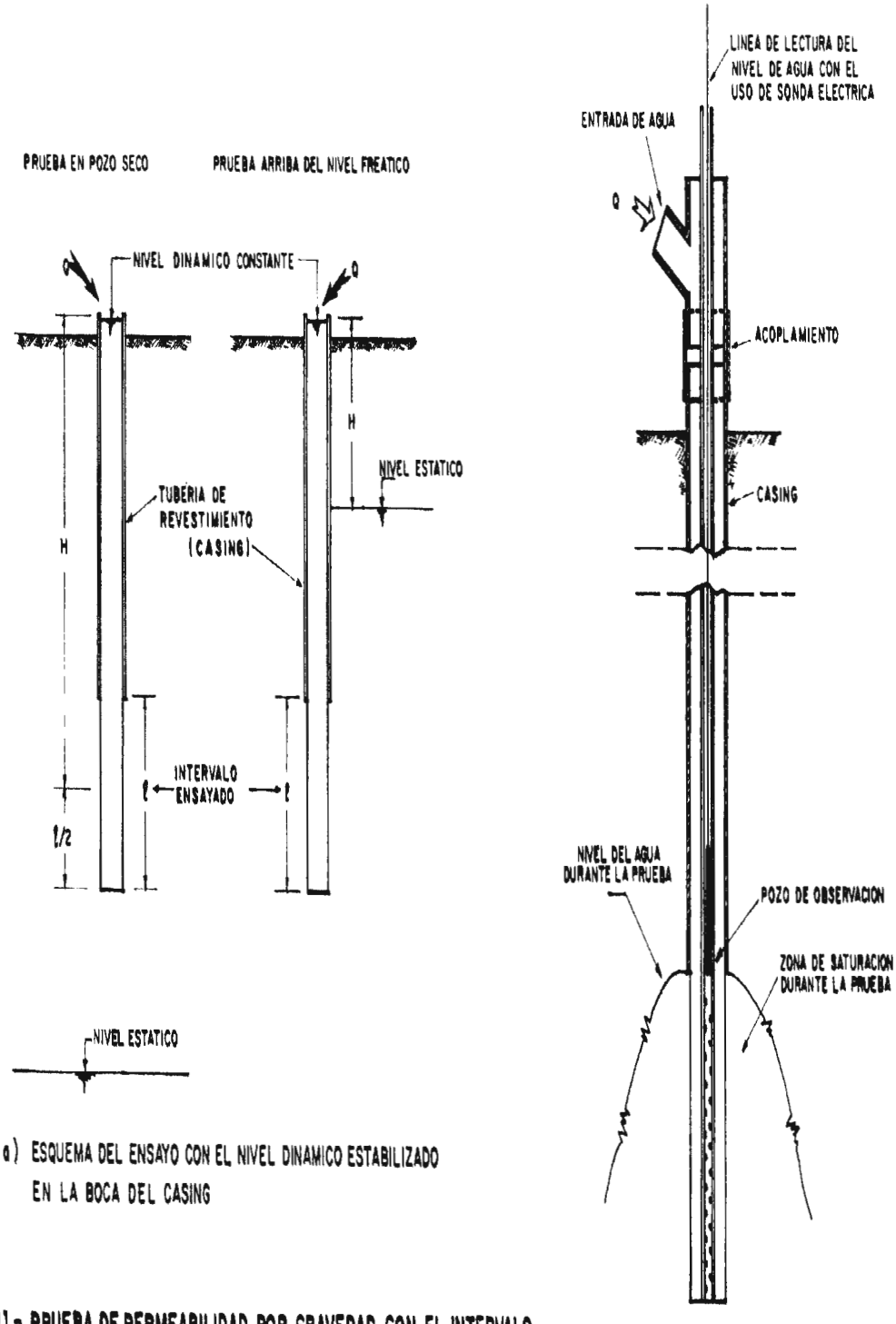
6.4.2.2 Gráficas del ensayo

La gráfica del ensayo, debe construirse de la misma manera a la indicada en el Punto 6.4.1.2.

Cuando el ensayo se ha realizado con diferentes tramos de presión, los gráficos de dependencia caudal-presión en función del tiempo de duración de la prueba, se formarán en diferentes umbrales (Fig. VI-12b), los cuales servirán posteriormente para constuir las curvas características del ensayo (Fig. VI-7).

6.4.2.3 Cálculo de los parámetros hidrogeológicos

Para el cálculo de los parámetros hidrogeológicos, se seguirá la misma metodología empleada en los ensayos a presión descrita anteriormente en el Punto 6.3.7, teniendo en consideración que las fórmulas utilizarán solamente las alturas de presión por gravedad.



a) ESQUEMA DEL ENSAYO CON EL NIVEL DINAMICO ESTABILIZADO EN LA BOCA DEL CASING

b) ESQUEMA GENERAL

FIG. VI.-11 - PRUEBA DE PERMEABILIDAD POR GRAVEDAD CON EL INTERVALO DE ENSAYO DELIMINADO POR EL FONDO DEL POZO Y LA TUBERIA DE REVESTIMIENTO

Los parámetros a obtenerse con estos ensayos serán:

- El coeficiente de permeabilidad, para formaciones aluviales y lechos de cauces.

- El coeficiente de permeabilidad, la absorción específica y el Lugeón, para materiales rocosos fracturados e intemperizados.

6.4.3 Pruebas por gravedad con uso de obturadores

Cuando el material atravesado por la perforación presenta condiciones para el empleo de obturadores y este material no resiste presiones menores de 10 Kg/cm^2, se delimita el tramo de prueba entre el obturador y el fondo del sondaje, realizando el ensayo de gravedad, en la misma forma del ensayo delimitado por la tubería de revestimiento y el fondo del sondaje (Punto 6.4.2.1).

El equipo que se emplee, debe disponer de un sistema que permita el empleo de sondas eléctricas para realizar lecturas de los diferentes niveles dinámicos, como se aprecia esquematicamente en la Fig. VI-13a. El cálculo de los parámetros hidrogeológicos y el procedimiento de la prueba es idéntico al ensayo anterior, teniendo especial cuidado que no exista flujo de agua detrás del obturador, pues indicaría que la obturación del intérvalo de prueba está mal efectuada, por lo que el ensayo resultaría defectuoso.

6.4.4 Pruebas por gravedad en sondajes sin revestimiento (Método de V.M.Nasbierg)

Estos ensayos se deben solamente realizar en sondajes sin revestir o parcialmente revestidos en suelos o en rocas muy fracturadas, cuando la napa freática se encuentra muy por debajo del fondo del sondaje.

6.4.4.1 Procedimiento del ensayo

Dentro del sondaje, se realizan vertimientos de agua limpia hasta lograr estabilizar un nivel dinámico constante sobre el fondo del mismo. Cuando el sondaje se encuentra revestido, el nivel dinámico deberá mantenerse debajo del fondo de la tubería de revestimiento (11).

Las lecturas del nivel dinámico, se realizarán t mo punto de referencia el extremo superior del piezómetro mediante el uso de una sonda eléctrica, por un tiempo mayor de 10 minutos.

Considerando que estos ensayos se realizan en materiales inestables cuando el sondaje no tenga revestimiento, los vertimientos de agua deben ser cuidadosamente realizados para evitar derrumbes de las paredes del sondaje.

En la Fig. VI-13b, se muestra esquemáticamente la operación de este ensayo.

6.4.4.2 Cálculo del coeficiente de permeabilidad

El coeficiente de permeabilidad está dado por la fórmula de Nasbierg, mediante la siguiente relación: (18)

$$K = 0.423 \frac{Q}{h^2} \text{Log} \frac{2h}{r} \qquad [23]$$

donde:

K = Coeficiente de permeabilidad en m/día
Q = Caudal estabilizado en m^3/día.
h = Altura de la columna de agua en el sondaje, considerada desde el fondo del mismo en m.
r = Radio del sondaje en m.

Se debe conservar la condición de que:

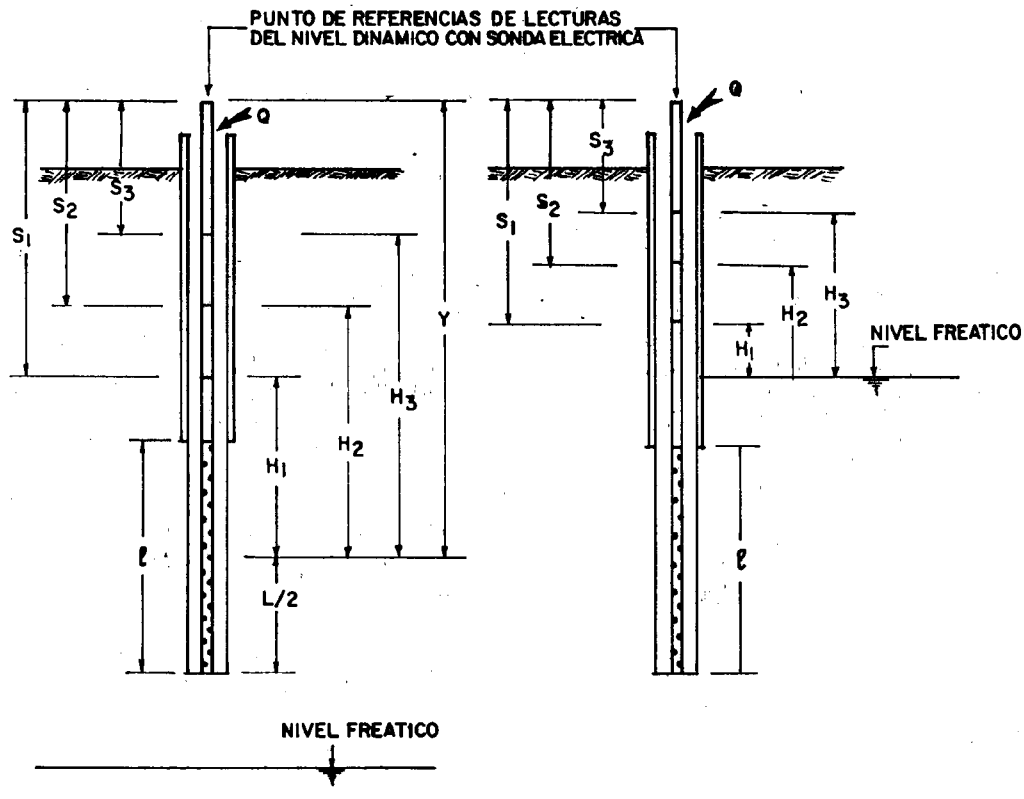
$$25 < \frac{h}{2r} < 100$$

6.5 Registro de los ensayos y presentación de resultados

Para llevar un control adecuado de la ejecución de los ensayos de permeabilidad por gravedad y presión, así como también para efecto de la presentación de los resultados obtenidos, se han diseñado formatos de fácil uso, con la finalidad de obtener la máxima información. Estos formatos están adecuados para los ensayos de gravedad y presión y son los siguientes:

- Registros de ensayos de permeabilidad (Formato VI-1)
- Tabla de resultados totales de los ensayos de permeabilidad (ver Anexo I).

FIG. VI-12- PRUEBA POR GRAVEDAD CON EL CASING DELIMITANDO EL INTERVALO DE ENSAYO CON DIFERENTES NIVELES DINAMICOS



PRUEBA EN POZO SECO

PRUEBA ARRIBA DEL NIVEL FREATICO

H = Y - S

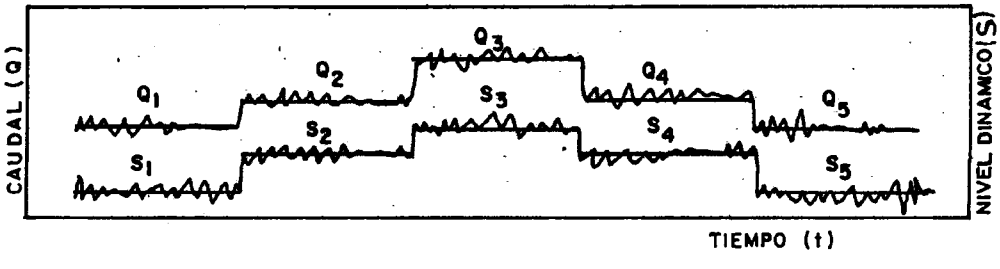
H = NIVEL ESTATICO - NIVEL DINAMICO

S = NIVEL DINAMICO

H = ALTURA DE PRESION POR GRAVEDAD

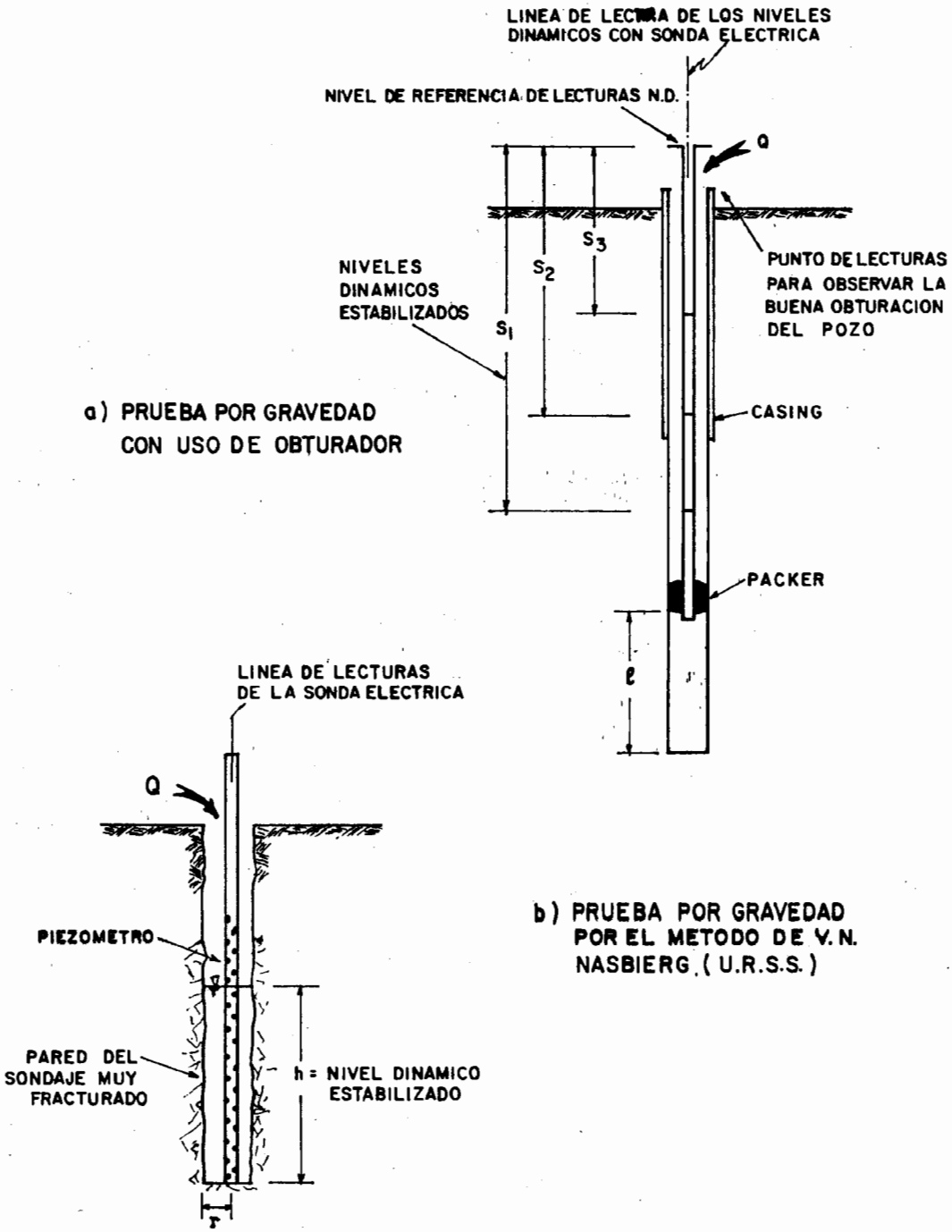
Y = PROFUNDIDAD DESDE EL PUNTO DE REFERENCIA HASTA EL MEDIO INTERVALO DE PRUEBA

a) ESQUEMA DEL ENSAYO POR GRAVEDAD CON DIFERENTES NIVELES DINAMICOS



b) GRAFICO DEL ENSAYO

FIG. VI-13- PRUEBAS DE PERMEABILIDAD POR GRAVEDAD CON USO DE OBTURADORES Y POR EL METODO DE NASBIERG



Formato VI-1

REGISTROS DE ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

Hoja 1 de 4

Sondaje Nº.: C-3	
Ensayo Nº. 22	Fecha: 06-7-77
Operador: Y.C.R.	Proyecto: Cazaderos

Descripción del Sondaje

Ubicación: Eje I A	Cota aba: –	
Inclinación Sond: Vertical	Nivel estático: 11.10 m	
Perforación	Prof.: 80.00	Diámetros: BXC
Casing:	" 26.76	" BXC
Packer:	" 75.33	" BXC

Intervalo Ensayado

Desde	Hasta	Total
75.33	80.00	4.67

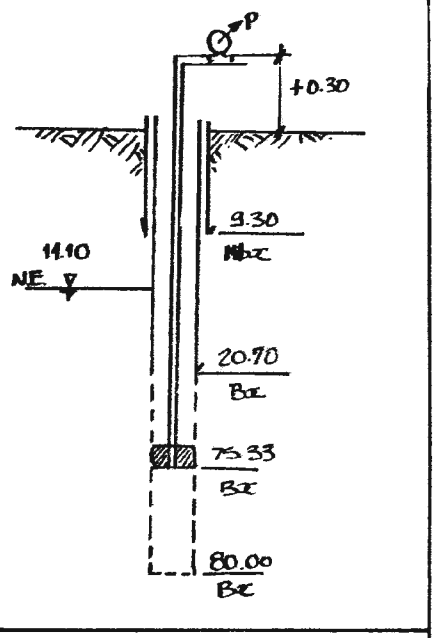
Niveles de Referencia desde la boca Sondaje

Nivel de medida:	Terreno
Nivel estático o del medio del tramo:	11.10 m
Altura manómetro:	+0.30 m.

Ingº. Responsable:

El Supervisor:

Esquema del Ensayo



Tipo de Ensayo: Presión

REGISTRO DE ENSAYO

Tiempo de Medida				Nivel Dinámico	Presión (m.)	Medición de Descargas			Observaciones
Fecha	Hora	Minuto	ΔTiempo			Lect. Apart.	Δ Lecturas	Q lt/min.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
06	18	20	–	–	3	5018.0	–	–	
VII		21	1		Kg/cm²	19.8	1.8	1.8	El ensayo
1977		22	1			22.5	2.7	2.7	se realizó
		23	1			25.0	2.5	2.5	en presencia
		24	1			27.9	2.9	2.9	del Supervisor.
		25	1			30.2	2.3	2.3	
		26	1			33.0	2.8	2.8	
		27	1			36.2	3.2	3.2	
		28	1			39.6	3.4	3.4	
		29	1			43.6	4.0	4.0	
		30	1			47.0	3.4	3.4	
		31	1			50.2	3.2	3.2	
		32	1			52.8	2.6	2.6	
		33	1			56.0	3.2	3.2	
		34	1			58.0	2.0	2.0	
		35	1			61.0	3.0	3.0	
	18	38	–		550	5086.0	–	–	
		39	1		Kg/cm²	88.0	2.0	2.0	
		40	1			90.1	2.1	2.1	
		41	1			94.0	3.9	3.9	

CAPITULO VII

7. Ensayos de Permeabilidad Realizados en el Sitio de Presa Lindachara

CAPITULO VII

7. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN EL SITIO DE PRESA LINDACHARA

Este capítulo, comprende la descripción de los ensayos de permeabilidad realizados en las variantes de eje de presa I y II de la Alternativa Lindachara del Proyecto Binacional Puyango - Tumbes, como una aplicación de la metodología descrita en el Capítulo VI.

7.1 Generalidades

Dentro del programa de Investigaciones Básicas preliminares del Proyecto Puyango - Tumbes mediante sondajes diamantinos, los estudios han comprendido la testificación continua de rocas, la descripción geológica y ensayos de permeabilidad por gravedad y presión, con la finalidad de que esta información correlacionada ha permitido mediante la extrapolación de los resultados, determinar las condiciones geotécnicas de los ejes de la Presa Lindachara.

Los resultados de los ensayos de permeabilidad a presión y gravedad que se programaron y realizaron, fueron concordantes con la litología de los sondajes y sirvieron para confirmar el fisuramiento de la roca y los contactos de las formaciones geológicas encontradas.

El autor del presente Estudio, participó en forma directa en el control y ejecución de los ensayos de permeabilidad, con la supervisión de los ingenieros especialistas del Consorcio Internacional Puyango - Tumbes.

7.2 Equipo y material empleado

Como parte complementaria del equipo de perforación diamantina que se emplearon en la realización de los sondajes, el equipo y material que se utilizó fue el siguiente:

- 2 juegos completos de obturadores simples
- 2 manómetros
- 1 medidor de consumo de agua con mecanismo de relojería
- 1 tanque medidor de consumo de agua
- Tubería galvanizada de 1 1/2"
- 4 válvulas de compuerta de 1 1/2"
- Niples, uniones universales, "T", etc.
- Mangueras de alta presión
- 1 cronómetro
- Formatos de pruebas de permeabilidad
- 1 sonda eléctrica.

Los principales instrumentos de medición y registro, fueron calibrados oportunamente, garantizándose así la realización de los ensayos.

7.3 Agua empleada en los ensayos

Debido a que en la fecha en que se perforaron los sondajes diamantinos L-1, L-2, L'-1 y L'-2, fué una época de intensa precipitación sobre todo en la parte alta de la cuenca del río Puyango - Tumbes en el Ecuador, el agua del río transportaba cantidades apreciables de sedimentos en suspensión, por lo que fué necesario tomar la decisión de no emplear estas aguas, dado a que estos sedimentos alterarían los resultados de los ensayos de permeabilidad.

El agua limpia, que se empleó en los ensayos de permeabilidad se consiguió mediante la instalación de una línea de conducción de agua desde la Quebrada Lindachara hasta las plataformas de perforación.

Cuando se realizó la perforación del Sondaje L'-3 no se tuvo los inconvenientes anteriores, puesto que las aguas del río Puyango Tumbes se encontraban libre de sedimentos, por lo que la captación de agua para los ensayos fue en forma directa.

En ambos casos siempre se empleó, tanques de circulación de agua junto a la máquina de perforación, para lograr un abastecimiento de agua uniforme y seguro, tanto para la perforación así como para los ensayos.

7.4 Metodología empleada

La metodología empleada fué la descrita en el Earth Manual U.S. Bureau of Reclamation (25), habiéndose realizado en todos los sondajes, un total de 68 ensayos a presión y 16 ensayos por gravedad, como se muestran resumidos en los Cuadros VII-1 al VII-5.

7.4.1 Ensayos a presión

Los ensayos de permeabilidad a presión, fueron realizados inyectando agua limpia a tramos del sondaje previamente aislados con el uso de un obturador simple delimitándose así el tramo ensayado. Estos ensayos, se realizaron en material rocoso firme y estable, aplicándose presiones manométricas al sondaje (generalmente de 1 a 3 tramos de presión), midiéndose luego el caudal absorbido a la presión aplicada durante 10 a 20 minutos.

En los sondajes L-1; L-2; L'-1 y L'-2; la escala de presiones aplicadas fué de presiones manométricas en forma ascendente, siendo la máxima empleada de 10 Kg/cm^2, observándose continuamente durante el desarrollo de los ensayos un aumento notorio del caudal de agua inyectado al sondaje, probablemente por el desbrozamiento de las fisuras, por lo que la fase descendente o de descompresión ya no era factible realizarla, ejecutándose solamente estos tramos de presión como medida de verificación, no registrándose los resultados. En el Sondaje L'-3 si se pudo aplicar 3 tramos de presión ascendente y un tramo de presión descendente.

Los cálculos de los parámetros hidrogeológicos, se realizaron siguiendo la metodología indicada en el Punto 6.3.7 del Capítulo VI para cada tramo de presión.

Para el cálculo de la absorción específica y de los Lugeónes que soporta la roca, se realizó en algunos casos mediante el análisis de las curvas de dependencia del caudal específico Q_0 en función de la presión H, teniendo en consideración el comportamiento de los ensayos (ver Figuras VII-1 al VII-6).

Cuando el ensayo presentaba obturación o desobturación progresiva de las fisuras por acción de la presión, el cálculo se realizó utilizando los dos primeros tramos de presión.

7.4.2 Ensayos por gravedad

Este tipo de ensayos, se realizaron en materiales rocosos sueltos o muy fracturados y en cubiertas de suelo, donde era imposible el uso de obturadores.

Los tipos de pruebas que se realizaron fueron:

- Pruebas con la tubería de revestimiento hincadas al fondo del sondaje, y
- Pruebas con el intérvalo de prueba, delimitado por la profundidad de la tubería de revestimiento y el fondo del sondaje.

Ambos ensayos, siguieron la metodología indicada en el Punto 6.4.1 y 6.4.2 del Capítulo VI del presente Estudio, estabilizando el nivel dinámico en la boca del sondaje o de la tubería de revestimiento durante 10 a 20 minutos.

CUADRO N°VII-1

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN EL SONDAJE L-1

N° DE PRUEBA	DESDE (m)	HASTA (m)	INTERVALO (m)	TIPO DE PRUEBA
1	3.00	5.00	2.00	gravedad
2	-	5.00	-	gravedad
3	6.20	10.00	3.80	gravedad
4	-	10.00	-	gravedad
5	-	15.25	-	gravedad
6	-	20.65	-	gravedad
7	-	25.00	-	gravedad
8	-	30.05	-	gravedad
9	24.10	31.50	7.40	presión
10	31.00	40.55	9.55	presión
11	35.34	40.55	5.21	presión
12	40.40	46.55	5.15	presión
13	46.15	51.35	5.20	presión
14	51.00	56.85	5.85	presión
15	55.00	61.85	6.85	presión
16	61.00	66.35	5.35	presión
17	70.00	75.35	5.35	presión
18	65.00	75.35	10.35	presión
19	80.00	85.85	5.85	presión
20	75.00	85.85	10.85	presión
21	85.00	92.75	7.75	presión
22	90.90	97.75	6.85	presión
23	95.00	102.75	7.75	presión

CUADRO N°VII-2

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN EL SONDAJE L-2

N° DE PRUEBA	DESDE (m)	HASTA (m)	INTERVALO (m)	TIPO DE PRUEBA
1	-	6.40	-	gravedad
2	-	9.50	-	gravedad
3	10.50	16.90	6.40	presión
4	17.00	25.83	8.83	presión
5	25.10	35.55	10.45	presión
6	30.00	35.55	5.55	presión
7	35.30	45.72	10.42	presión
8	45.72	56.15	10.43	presión
9	49.60	56.15	6.55	presión
10	56.15	66.00	9.85	presión
11	66.00	75.20	9.20	presión
12	75.20	85.35	10.15	presión

CUADRO N°VII-3

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN EL SONDAJE L'-1

N° DE PRUEBA	DESDE (m)	HASTA (m)	INTERVALO (m)	TIPO DE PRUEBA
1	-	5.00	-	gravedad
2	-	9.50	-	gravedad
3	8.20	15.50	7.30	gravedad
4	15.00	20.00	5.00	presión
5	20.00	24.85	4.85	presión
6	30.00	35.35	5.35	presión
7	24.80	35.35	10.55	presión
8	35.00	44.65	9.65	presión
9	40.00	44.65	4.65	presión
10	50.00	55.15	5.15	presión
11	44.65	55.15	10.50	presión
12	60.00	65.05	5.05	presión
13	55.00	65.05	10.05	presión
14	65.05	71.05	6.00	presión
15	70.00	75.55	5.55	presión
16	75.00	80.05	5.05	presión
17	76.75	80.05	3.30	presión
18	80.00	84.55	4.55	presión
19	84.55	90.55	6.00	presión

CUADRO N°VII-4

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN EL SONDAJE L'-2

N° DE PRUEBA	DESDE (m)	HASTA (m)	INTERVALO (m)	TIPO DE PRUEBA
1	-	5.00	-	gravedad
2	-	11.30	-	gravedad
3	3.40	15.80	12.40	gravedad
4	11.30	15.80	4.50	presión
5	15.00	21.31	6.31	presión
6	20.00	25.81	5.81	presión
7	25.00	31.26	6.26	presión
8	30.00	35.36	5.36	presión
9	35.50	39.87	4.37	presión
10	40.00	45.82	5.82	presión
11	45.00	50.32	5.32	presión
12	50.00	55.32	5.32	presión
13	55.00	60.37	5.37	presión
14	60.00	66.66	6.66	presión
15	66.60	72.55	5.95	presión
16	70.10	75.50	6.40	presión
17	75.00	80.31	5.31	presión
18	80.30	87.26	6.96	presión
19	87.30	93.66	6.36	presión
20	93.60	99.97	6.37	presión
21	100.00	110.14	10.14	presión

CUADRO N°VII-5

ENSAYOS DE PERMEABILIDAD REALIZADOS EN EL SONDAJE L'-3

N° DE PRUEBA	DESDE (m)	HASTA (m)	INTERVALO (m)	TIPO DE PRUEBA
1	10.00	15.40	5.40	presión
2	15.00	19.80	4.80	presión
3	20.00	25.00	5.00	presión
4	28.10	32.44	4.34	presión
5	32.40	38.58	6.18	presión
6	38.50	44.40	5.90	presión
7	44.30	54.10	9.80	presión
8	49.00	54.10	5.10	presión
9	54.00	60.03	6.03	presión

7.5 Resultados de los ensayos de permeabilidad realizados en los ejes de la Presa Lindachara

Los resultados de los ensayos de permeabilidad, que se realizaron en los sondajes diamantinos, se muestran resumidos en los Cuadros VII-6 al VII-10 y en el Anexo I (Tabla de resultados totales de los ensayos de permeabilidad por gravedad y presión). La representación gráfica de estos resultados se muestran en el Anexo II con los Registros del Sondeo.

7.5.1 Resultados de los ensayos en los sondajes de la variante de eje de Presa I

En el Sondaje L-1, ubicado éste en el estribo derecho, los resultados de permeabilidad dieron valores del orden de 10^{-5} a 10^{-7} cm/seg. (menor de 5 Lugeones) por debajo de los 46 m. de profundidad, tal como se puede observar en el Cuadro VII-6.

Por encima de los 46 m., los valores registrados son del orden de 10^{-3} a 10^{-4} cm/seg., valores que son concordantes con las lutitas intemperizadas y a la transición entre ésta con la roca fresca.

En el intérvalo ensayado de 85.0 a 92.75 m. (Ensayo 21), se observa un ligero incremento de la permeabilidad (2.6 Lugeones), debido al contacto geológico que existe a los 86 m. de las lutitas con las areniscas.

En el análisis del comportamiento de los ensayos (Figura VII-1), se observa que las lutitas generalmente presentan una fuerte desobturación de las fisuras al aplicarse alta presión, probablemente debido a las delgadas y muy frágiles capas de estratificación que éstos materiales presentan (Ensayos 9 al 11); asímismo, este fenómeno se observa en las intercalaciones de las areniscas con las lutitas (Ensayo 14). Las areniscas y las lutitas mas compactas debajo de los 46 m. de profundidad presentan este mismo fenómeno pero en menor grado.

En el sondaje L-2, ubicado éste también en el estribo derecho y muy cercano a la orilla del río Puyango - Tumbes, los valores de permeabilidad obtenidos en su mayor parte son superiores a 5 Lugeones, registrándose los valores más impermeables en los intérvalos del sondaje de 30 a 46 m. y de 56 a 66 m., como se puede apreciar en el Cuadro VII-7.

Los mayores valores de permeabilidad, se registraron en el contacto de las areniscas y lutitas a los 11 m. de profundidad y en la transición gradacional de este contacto.

En la Fig. VII-2, se muestra el comportamiento de los ensayos realizados a presión, observándose que en la mayoría de las pruebas se produce obturación progresiva de las fisuras a presiones menores de 50 m. A mayores presiones se observa un desbrozamiento y desobturación fuerte de las fisuras en las lutitas, probablemente por la estructurar foliar que presentan estas. (Ensayo 6)

7.5.2 Resultados de los ensayos en los sondajes de la variante de Eje de Presa II

Los ensayos realizados en el Sondaje L'-1, ubicado éste en el estribo derecho del Eje II, dan valores impermeables por debajo de los 25 m. de profundidad, con excepción del tramo de 70 a 80 m. que alcanzan valores de 3.5 a 8 Lugeones, correspondiendo este tramo al contacto entre las lutitas y areniscas. (Cuadro VII-8)

En la Fig. VII-3, se observa que en los ensayos realizados, las lutitas experimentan una desobturación progresiva de fisuras a presiones mayores de 50 m. y en menor grado las lutitas intercaladas con material calcáreo y las areniscas.

En el Sondaje L'-2, ubicado aproximadamente 30 m. sobre el río Puyango - Tumbes en el estribo derecho del Eje II, los

valores de permeabilidad se presentan alternados en impermeables y permeables (Cuadro VII-9).

Los materiales permeables, se presentan en las areniscas fracturadas, contacto entre las areniscas y las lutitas y en un horizonte de lutitas carbonosas. (Ensayos 4, 8, 11 y 13 respectivamente)

El comportamiento de los ensayos realizados en este sondaje (Fig. VII-4), muestran generalmente una leve desobturación de las lutitas y areniscas inclusive a alta presión. En el tramo del sondaje de 100 a 110 m. de profundidad, se observa una desobturación seguida luego de una obturación de fisuras, posiblemente por ser este tramo una zona de fracturamiento de las lutitas (Ensayo 21). Asímismo, en el banco calcáreo que existe en el sondaje en el tramo probado de 93 a 100 m. de profundidad, se observa una desobturación fuerte de fisuras a alta presión.

En el estribo izquierdo del Eje II, en el Sondaje L'-3, los valores de permeabilidad descienden a menos de 3 Lugeones debajo de los 28 m. de profundidad, con excepción del tramo de 44 a 54 m. que se registró 3.5 Lugeones correspondiendo ésta a una zona fuertemente fracturada y de transición entre las areniscas y las lutitas (Cuadro VII-10). Los tramos del sondaje de 15 a 20 m. y de 20 a 25 m. son muy permeables debido a la presencia de fracturas grandes en las areniscas, siendo el último tramo más permeable que el anterior, debido a la existencia de un horizonte de abundantes venillas de calcitas.

En la Fig. VII-5, se muestra el comportamiento de los ensayos a presión, observándose en las areniscas meteorizadas (Ensayo 1) una leve desobturación de fisuras a baja presión. Las areniscas en el tramo del sondaje de 38 a 44 m. de profundidad, presentan una leve obturación progresiva de fisuras (Ensayo 6), probablemente debido a la transición del contacto entre las lutitas a las areniscas.

CUADRO N°VII-6

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD DEL SONDAJE L-1

N° DE ENSAYO	TRAMO ENSAYADO			q Lt/min.m H = 1 m.	LUGEON Lt/min.m H = 100 m.	K cm/Seg.
	Desde	Hasta	Total			
1	3.00	5.00	2.00	2.125	-	2.70×10^{-3}
2	-	5.00	-	-	-	2.62×10^{-2}
3	6.20	10.00	3.80	0.026	-	2.10×10^{-6}
4	-	10.00	-	-	-	4.09×10^{-4}
5	10.00	15.25	5.25	-	-	1.34×10^{-3}
6	-	20.65	-	-	-	1.47×10^{-3}
7	-	25.00	-	-	-	9.82×10^{-4}
8	-	30.05	-	(Se reemplaza por Prueba N° 9)		
9	24.10	31.50	7.40	0.0395	3.95	5.48×10^{-5}
10	31.00	40.55	9.55	0.0215	2.15	3.125×10^{-5}
11	35.34	40.55	5.21	0.004	0.4	5.19×10^{-6}
12	40.40	46.55	6.15	0.0955	9.55	1.28×10^{-4}
13	46.15	51.35	5.20	0.0006	0.06	7.77×10^{-7}
14	51.00	56.85	5.85	0.00285	0.285	3.77×10^{-6}
15	55.00	61.85	6.85	0.0018	0.18	2.43×10^{-6}
16	61.00	66.35	5.35	0.0005	0.05	6.48×10^{-7}
17	70.00	75.35	5.35	0.0051	0.51	6.59×10^{-6}
18	65.00	75.35	10.35	0.00075	0.075	1.11×10^{-6}
19	80.00	85.85	5.85	0.0162	1.62	2.15×10^{-5}
20	75.00	85.85	10.85	0.00065	0.065	9.72×10^{-7}
21	85.00	92.75	7.75	0.0469	2.62	6.57×10^{-5}
22	90.90	97.75	6.85	0.00623	0.623	8.5×10^{-6}
23	95.00	102.75	7.75	0.0038	0.38	5.31×10^{-6}

CUADRO N°VII-7

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD DEL SONDAJE L-2

N° DE ENSAYO	TRAMO ENSAYADO			q Lt/min.m H = 1 m.	LUGEON Lt/min.m H = 100 m.	K cm/Seg.
	Desde	Hasta	Total			
1	-	6.40	-	-	-	0.0
2	-	9.50	-	-	-	1.7×10^{-2}
3	10.50	16.90	6.40	0.50	6.90	6.76×10^{-4}
4	17.00	25.83	8.83	0.549	54.9	7.90×10^{-4}
5	25.10	35.55	10.45	3.25	4.35	4.72×10^{-3}
6	30.00	35.55	5.55	0.00378	0.378	4.96×10^{-6}
7	35.20	45.72	10.42	0.05	0.985	7.4×10^{-5}
8	45.72	56.15	10.43	0.95	2.4	3.70×10^{-4}
9	49.50	56.15	6.55	0.30	5.9	4.07×10^{-4}
10	56.15	66.00	9.85	0.0082	0.82	1.21×10^{-5}
11	66.00	75.20	9.20	0.94	3.0	1.36×10^{-3}
12	75.20	85.35	10.15	0.69	3.40	1.16×10^{-3}

CUADRO N°VII-8

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD DEL SONDAJE L'-1

N° DE ENSAYO	TRAMO ENSAYADO			q Lt/min.m H = 1 m.	LUGEON Lt/min.m H = 100 m.	K cm/Seg.
	Desde	Hasta	Total			
1	-	5.00	-	-	-	1.23×10^{-3}
2	-	9.50	-	-	-	4.26×10^{-4}
3	8.20	15.50	7.30	0.0346	-	4.78×10^{-5}
4	15.00	20.00	5.00	0.28	4.42	3.6×10^{-4}
5	20.00	24.85	4.85	0.045	4.5	5.75×10^{-5}
6	30.00	35.35	5.35	1.15	2.82	1.50×10^{-3}
7	24.80	35.35	10.55	0.115	1.90	1.20×10^{-4}
8	35.00	44.65	9.65	0.026	2.6	3.79×10^{-5}
9	40.00	44.65	4.65	0.0185	1.85	2.34×10^{-5}
10	50.00	55.15	5.15	0.00	0.0	0.0
11	44.65	55.15	10.50	0.0034	0.34	5.04×10^{-6}
12	60.00	65.05	5.05	0.0153	1.53	1.97×10^{-5}
13	55.00	65.05	10.05	0.009	0.9	1.32×10^{-5}
14	65.05	71.05	6.00	0.0052	0.52	6.92×10^{-6}
15	70.00	75.55	5.55	0.035	3.5	4.6×10^{-5}
16	75.00	80.05	5.05	0.079	7.9	1.02×10^{-4}
17	76.75	80.05	3.30	0.35	4.10	4.12×10^{-4}
18	80.00	84.55	4.55	0.00185	0.185	2.33×10^{-6}
19	84.00	90.55	6.00	0.0052	0.52	6.94×10^{-6}

CUADRO N°VII-9

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD DEL SONDAJE L'-2

N° DE ENSAYO	TRAMO ENSAYADO			q Lt/min.m H = 1m.	LUGEON Lt/min.m H = 100m.	K cm/seg.
	Desde	Hasta	Total			
1	-	5.00	-	-	-	0.00
2	-	11.30	-	-	-	1.90×10^{-3}
3	3.40	15.80	12.40	0.0699	-	1.06×10^{-4}
4	11.30	15.80	4.50	0.5235	52.3	6.59×10^{-4}
5	15.00	21.31	6.31	0.00944	0.944	1.27×10^{-5}
6	20.00	25.81	5.81	0.00505	0.505	6.69×10^{-5}
7	25.00	31.26	6.26	0.00	0.00	0.00
8	30.00	35.36	5.36	0.177	17.7	2.31×10^{-4}
9	35.50	39.87	4.37	0.00	0.00	0.00
10	40.00	45.82	5.82	0.00471	0.471	6.25×10^{-6}
11	45.00	50.32	5.32	0.39	8.6	5.08×10^{-4}
12	50.00	55.32	5.32	0.00651	0.651	8.48×10^{-6}
13	55.00	60.37	5.37	0.174	17.40	2.27×10^{-4}
14	60.00	66.66	6.66	0.00209	0.209	2.84×10^{-6}
15	66.60	72.55	5.95	0.000509	0.0509	6.78×10^{-7}
16	70.10	76.50	6.40	0.115	7.0	1.55×10^{-4}
17	75.00	90.31	5.31	0.00495	0.495	6.45×10^{-6}
18	80.30	87.26	6.96	0.00129	0.129	1.77×10^{-6}
19	87.30	93.66	6.36	0.00586	0.586	7.91×10^{-6}
20	93.60	99.97	6.37	0.0068	0.68	9.18×10^{-6}
21	100.00	110.14	10.14	0.0144	1.44	2.12×10^{-5}

CUADRO N°VII-10

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD DEL SONDAJE L'-3

N° DE ENSAYO	TRAMO ENSAYADO			q Lt/min.m H = 1 m.	LUGEON Lt/min.m H = 100 m.	K cm/Seg.
	Desde	Hasta	Total			
1	10.00	15.40	5.40	0.053	5.3	6.92×10^{-5}
2	15.00	19.80	4.80	0.325	32.5	4.13×10^{-4}
3	20.00	25.00	5.00	0.4963	49.6	6.38×10^{-4}
4	28.10	32.44	4.34	0.0140	1.40	1.749×10^{-5}
5	32.40	38.58	6.18	0.008	0.8	1.074×10^{-5}
6	38.50	44.50	5.90	0.0264	2.6	3.507×10^{-5}
7	44.30	54.10	9.80	0.034	3.4	4.976×10^{-5}
8	49.00	54.10	5.10	0.0153	1.53	1.97×10^{-5}
9	54.00	60.03	6.03	0.0171	1.71	2.28×10^{-5}

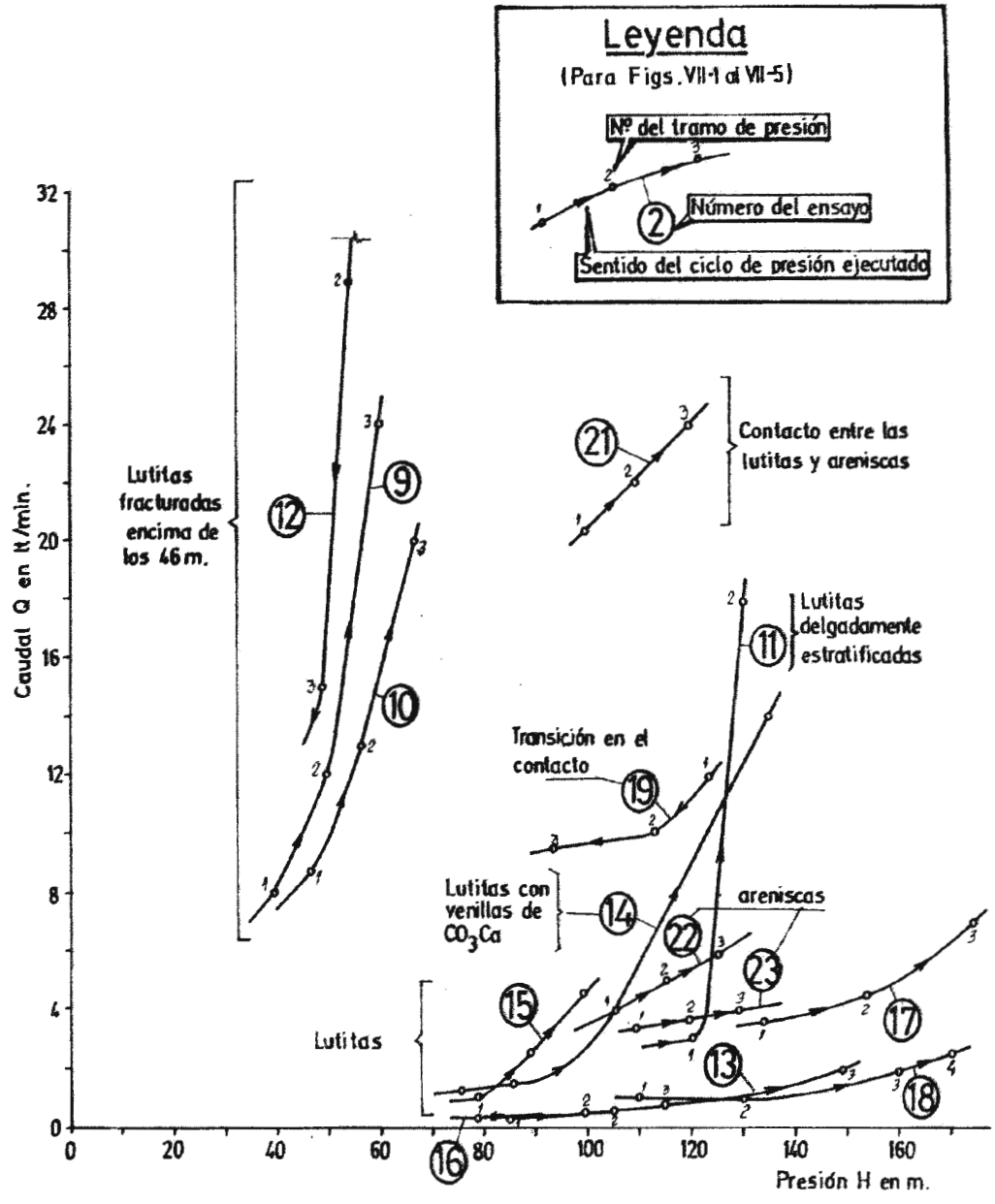


Fig. VII-1.- Curvas características: Sondaje L-1

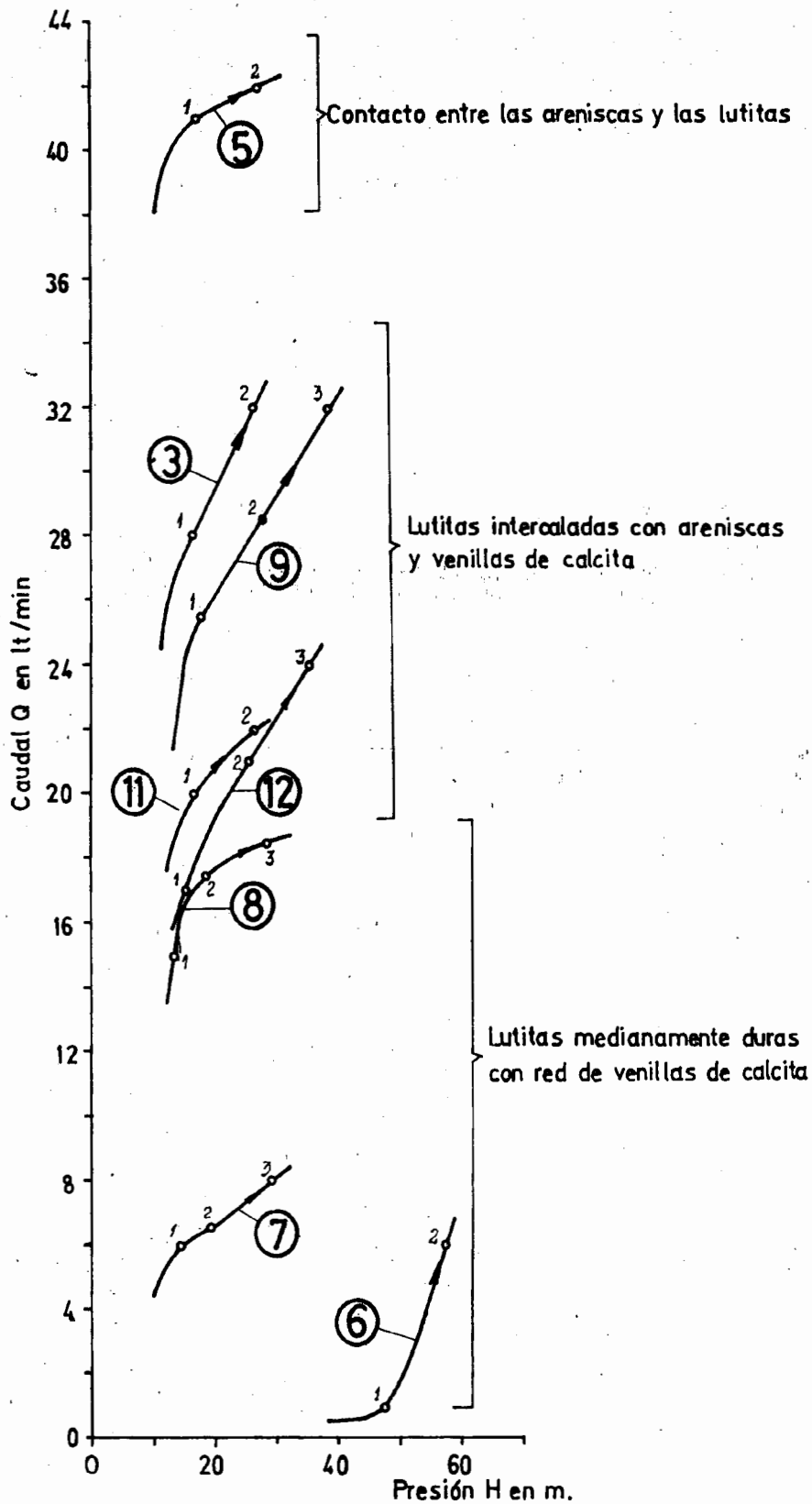
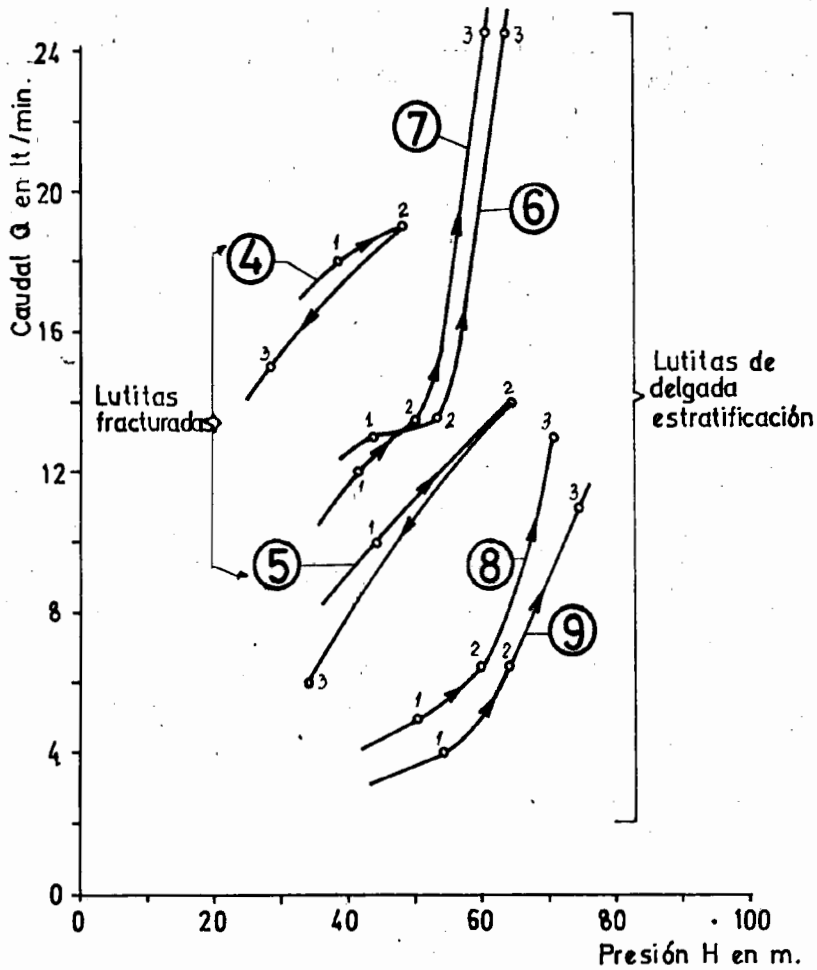


Fig.VII-2.- Curvas características: Sondaje L-2



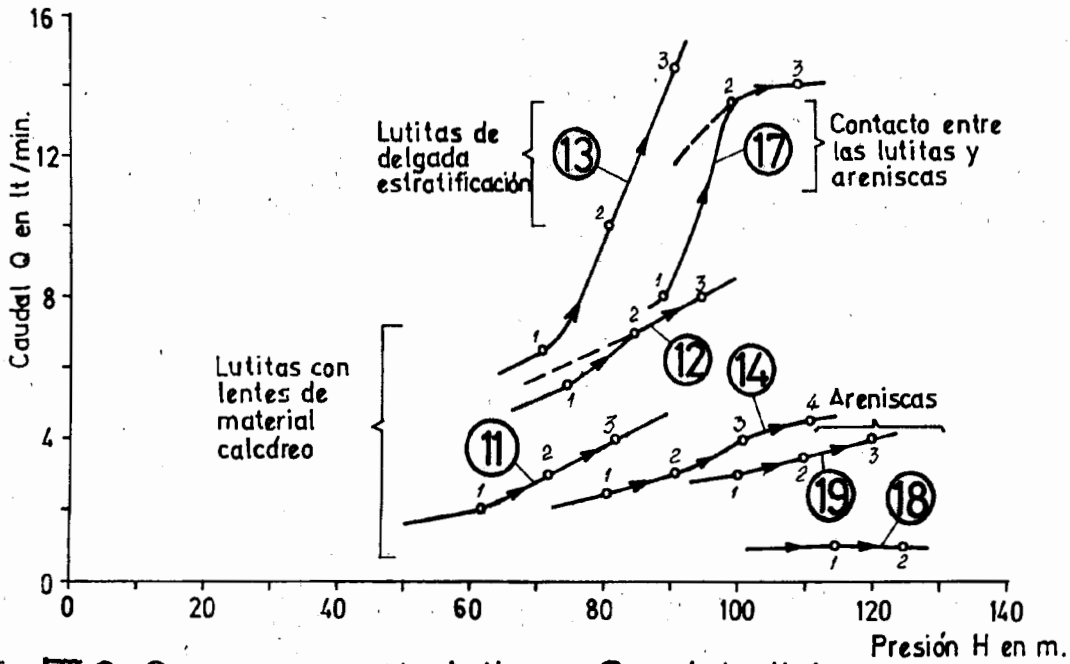


Fig. VII-3.- Curvas características: Sondaje L'-1

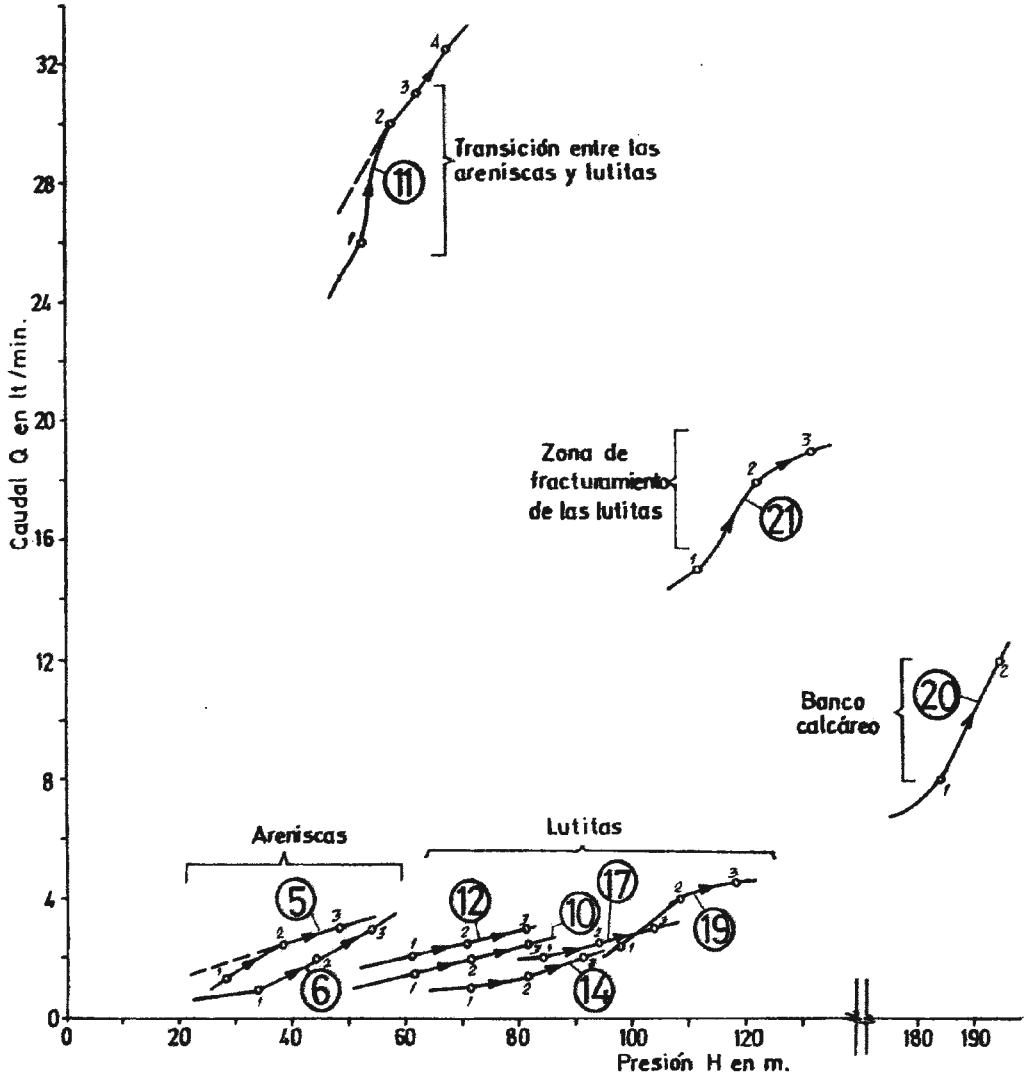


Fig.VII-4.-Curvas características: Sondaje L'-2

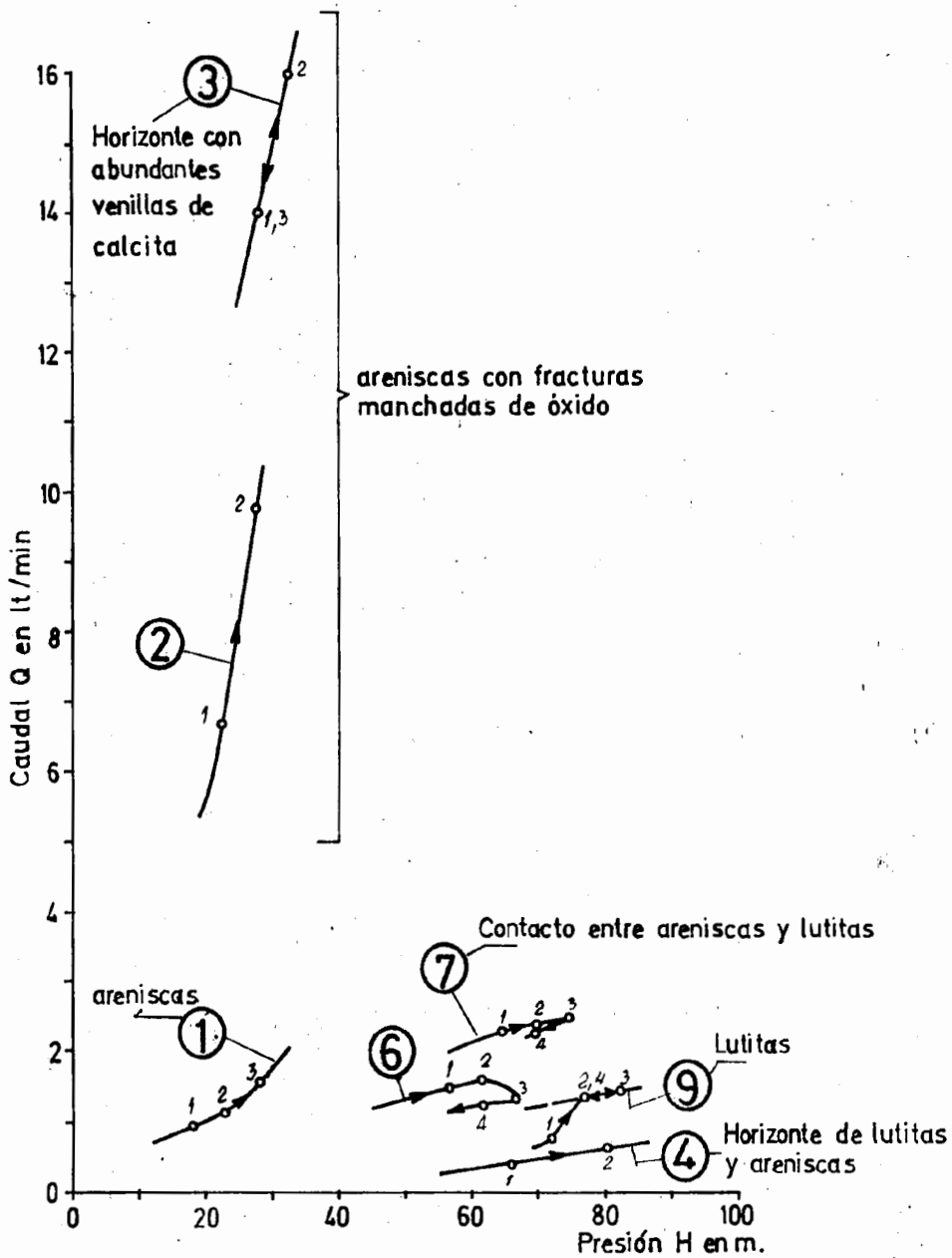


Fig.VII-5.- Curvas características: Sondaje L'-3

CAPITULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

CAPITULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones, tanto en el aspecto de la prospección geotécnica mediante sondajes diamantinos en la presa Lindachara, como en aspecto general, que constituyen el resultado del análisis de este estudio, son los siguientes:

8.1 Conclusiones

- Los estribos y la base de los ejes de Presa Lindachara están conformadas por rocas sedimentarias del cretáceo, habiéndose reconocido en los sondajes diamantinos ejecutados en ambas variantes de ejes, dos tipos de rocas basicamente: areniscas de color gris de grano fino a medio y lutitas compactas.

- Con bastante frecuencia, la arenisca se ve surcada por venas y venillas de calcita con cierto paralelismo al eje del testigo. En las lutitas, la calcita se emplaza en forma de venillas finas y menos frecuentes que las areniscas.

- En los sondajes diamantinos se obtuvieron muestras representativas con buenos porcentajes de recuperación de testigos promedio por corrida, como sigue:

Sondaje L-1	:	95%
Sondaje L-2	:	97%
Sondaje L'-1	:	92%

Sondaje L'-2 : 97%
Sondaje L'-3 : 96%

- Los resultados de los ensayos de permeabilidad en el Eje II, demuestran que la permeabilidad desciende a valores impermeables por debajo de 3 lugeones entre 25 y 75m. de profundidad.

- El Sondaje L'-1, registra valores impermeables por debajo de 25m. con excepción del tramo 70-80m. que alcanza 3.5-8 lugeones,correspondiendo este tramo al contacto entre las lutitas y areniscas.

- El Sondaje L'2, presenta tramos impermeables y permeables en forma alternada de 16 a 75m.,correspondiendo los valores mas altos a las zonas de contacto entre las lutitas y areniscas.

- En el Sondaje L'-3, la permeabilidad desciende a menos de 3 lugeones; con excepción del tramo 44 a 54m. que registró 3.5 lug. correspondiente a una zona fuertemente fracturada y de transición entre las areniscas y las lutitas.

- En el Sondaje L-1, se presentaron valores menores de 3 lugeones por debajo de 46m.

- En el Sondaje L-2, se obtuvieron en la mayor parte del sondaje valores superiores a 3 lugeones, registrándose permeabilidades menores en los tramos de 36 a 46m y de 56 a 66m.

- Las zonas de mayor permeabilidad se presentan en los con-

tactos de las areniscas y lutitas.

- Con respecto a la quebrada Boliches, los estratos buzan favorablemente hacia el rio Puyango-Tumbes y por las condiciones permeables de la roca fresca encontrados en los sondajes, no se esperan fuertes filtraciones hacia ésta quebrada.

- Los niveles freáticos registrados en los sondajes, demuestran que el rio Puyango-Tumbes sirve como dren natural de las aguas subterráneas almacenados en los estratos que rodean el embalse.

- La información proporcionada por los sondajes, con el porcentaje de recuperación, R.Q.D, ensayos de permeabilidad correlacionados con los perfiles de resistividades, permitieron establecer los límites superiores de la roca fresca y sus condiciones geotécnicas hasta las profundidades alcanzadas.

- Los sondajes diamantinos de la márgen derecha correlacionados con la prospección geoeléctrica se comprueba que el Eje II, presenta menores potencias de material superficial suelto y descompuesto.

- El Eje II, presenta condiciones geotécnicas mas favorables que el Eje I para la cimentación de la presa, por presentar menores espesores de materiales sueltos, rocas alteradas y descompuestas; asímismo, por presentar valores de permeabilidad menores en la base.

- De acuerdo a los resultados de inyección de agua, realizado en los Ejes I y II, se han establecido condiciones permeables

del basamento rocoso a más de 30 m. de profundidad como sigue:

ESTRATOS	PERMEABILIDAD EN LUGEONES
Lutitas de la Formación Condor Flores	0.05 - 2
Areniscas de la Formación Lindachara	0.30 - 1.5
Lutitas de la Formación Boliches	0.80 - 3.20
Zonas de contacto entre lutitas y areniscas	3.00 - 17.00

En algunos casos, en tramos cortos de los estratos de lutitas y areniscas, se han registrado pemeabilidades altas.

A profundidades hasta de 30 m., la permeabilidad varía de 2 lugeones a 50 lugeones.

- Al referirnos sobre los aspectos generales, podemos afirmar que el conocimiento más exacto de los materiales y formaciones geológicas inferiores de la cimentación que en definitiva soportará la construcción de una presa, solamente se puede realizar mediante la prospección directa mediante sondajes diamantinos con recuperación contínua de testigos y ensayos de permeabilidad. La prospección geofísica, permite el conocimiento de la potencia de las capas de material intemperizado.

8.2 Recomendaciones

- Para la construcción de la presa Lindachara, de acuerdo a los resultados obtenidos en los sondajes diamantinos, se debe en lo posible eliminar en toda el área de la cimentación la capa superior meteorizada hasta alcanzar la roca sana.

Es deseable que el tratamiento que reciba la roca sana, debe ser mediante una cortina de inyección de concreto para impermeabilizar el eje hasta el límite superior de la roca fresca. Las soluciones al tratamiento de la cimentación de la presa Lindachara, debe ser analizada desde el punto de vista técnico-económico en el Diseño Definitivo, reforzando con mayores investigaciónes.

- Cuando las formaciones buzan mucho, es más económico realizar sondeos inclinados, si es posible en dirección normal a la inclinación del estrato, dado que las pérdidas económicas debido a la inadecuada ubicación e inclinación grava directamente a la economía del sondaje.

- Los testigos extraidos de los sondajes, deben ser almacenados en forma ordenada y preservados en cajas especiales de madera y el transporte de éstos debe ser lo más cuidadoso posible, con la finalidad de que en el futuro cualquier duda o verificación pueda realizarse.

- En los sondajes diamantinos de investigación, no se debe emplear lodos bentonítico ni similares, dado que estos sistemáticamente obturan los poros y fisuras impermeabilizando las paredes del sondaje, por lo que los ensayos de permeabilidad que se realicen serían completamente erróneos.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. Boyles Bros Diamantina S.A. "Como ordenar sus brocas". (catálogos) Lima - 1976.

2. Cambefort H. "Perforaciones y Sondeos" 3a. Edición Barcelona. Ediciones Omega S.A. 1975

3. Cambefort H. "Geotécnia del Ingeniero" 3a. Edición España. Editores Técnicos Asociados S.A. 1975

4. Proyecto Binacional Puyango Tumbes "Geología Subterránea directa mediante Sondajes Diamantinos, Presa Lindachara". Lima-Perú, Bustamante Williams As. MOTLIMA Consultores S.A. 1977

5. Proyecto Binacional Puyango-Tumbes. "Estudio de Factibilidad del Proyecto Puyango-Tumbes. Diagnóstico Físico Geotécnia. Tomo B. Anexo 5. Estudio Geotécnico de presa y embalse Lindachara". Lima Perú. Consorcio Internacional Puyango Tumbes 1977.

6. Proyecto Binacional PuYango-Tumbes "Geología SUbterránea Indirecta". Prospecciones Geofísicas en Lindachara a nivel de factibilidad. Lima - Perú BWAS. MOTLIMA Consult 1977.

7. Craelius, Svensica Diamant "Diamont Core Drilling", 2a. Edición. Suecia. Editorial Svensica Diamant Bergborrnings AB.- 1975

8. Creager W. Justin J. y Hinds J. "Engineering for Dams" Volumen I. General Design Edicion. U.S.A. Editorial John Wiley Sons Inc. 1966.

9. Gomez J y Aracil J. "Saltos de agua y presas de embalse" Tomo II Presas de embalse. 3a. Edición. Madrid. Topografía Artística 1974

10. Goicochea J.-Proyecto Especial Olmos M.A. "Pruebas de Permeabilidad "in situ" - Métodos de Inyección y Vertimiento de Agua con uso de Tampón." Copias reproducidas en el Proyecto Olmos. 1975.

11. Kayakin V. Technopromexport - Especificaciones Técnicas de Investigaciones Geotécnicas del Proyecto Especial Olmos - Chiclayo 1975.

12. Krynine D. y Ludd W. "Principios de Geología y Geotécnia para Ingenieros". 1a. Edición. España, Editorial Omega 1961.

13. Linsley R. y Franzini J. "Ingeniería de los Recursos Hidráulicos". 1a. Edición. México. Compañía Editorial Continental S.A. 1972.

14. Long Year. "Diamond Drilling Equipment" (Catálogos). South Pacific Industrial Supplies S.A. Lima Perú.

15. Maksimov A., Miloserdina G y Eriomin N. "Breve Curso de Prospección Geológica", Rusia. Editorial MIR. 1973.

16. Maraví G. "Explotación, Exploración y Perforación de Pozos en el Valle de Lurín". Tésis Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional Agraria "La Molina". Lima - Perú.

17. Marsal E. y Reséndiz D. "Presas de Tierra y Enrrocamiento". 1a. Edición México. Editorial Limusa. 1975.

18. Ministerio de Energética U.R.S.S. "Manual de Instrucciones para Pruebas de Inyección". (Copias Traducidas). Moscú. Editorial Estatal Energética 1975.

19. Ministerio de Agricultura D.G.I. "Estudio Geotécnico de la Zona del Embalse "El Tigre" del Proyecto Binacional Puyango-Tumbes. Informe Técnico DGI-DIA-IG-012-76- Lima Perú 1976.

20. Ministerio de Agricultura D.G.I "Estudio de Factibilidad del Proyecto Binacional Puyango-Tumbes - Sondajes Diamantinos zona Lindachara Informe Técnico G.A.P. 01.01 I 222. Lima Perú. BWAS-MOTLIMA 1977.

21. Ministerio de Energética U.R.S.S. "Manual para los Cálculos Ingeniero Geológicos durante las prospecciones para la Construcción Hidroenergética". Moscú. Editorial Estatal Energética. Traducción por J. Barreto. Chiclayo 1975.

22. Trefethen J. "Geología para Ingenieros". 2a. Edición. México Compañía Editorial Continental S.A. 1960

23. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation "Permeability Tests using Drill Holes and Wells". U.S.A. Commissioner's Office. 1975.

24. U.S. Department of the Interior. Bureau of reclamation "Drill Hole Water Tests, Technical Instructions-Provisional" U.S.A. Office of Chief Engineer 1970

25. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation, Earth Manual A. Water Technical Publication" 2a. Edición U.S.A. Government Printing Office 1974.

26. U.S. Department of the Interior. Bureau of Reclamation- "Design of Small Dams. A water Resources Technical Publication". 2a. Edición U.S.A. Government Printing Office. 1974.

27. Stagg-Zienkiewics - "Mecánica de Rocas en la Ingeniería Práctica" 1a. Edición - Madrid - Editorial Blume 1970.

28. Jesús Puy Huarte - "Procedimientos de Sondeos"- Madrid - Servicio de Publicaciones de la Junta de Energía Nuclear (J.E.N.) - 1977.

ANEXOS

ANEXO I

TABLAS DE RESULTADOS TOTALES DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD

ANEXO I-1 : SONDAJE L-1
ANEXO I-2 : SONDAJE L-2
ANEXO I-3 : SONDAJE L'-1
ANEXO I-4 : SONDAJE L'-2
ANEXO I-5 : SONDAJE L'-3